

ISSN impreso: 2631-2697 / ISSN electrónico: 2631-2719

Pablo Pérez Gosende/ Pablo Parra Rosero
Andrea Vázquez Martínez
(Coordinadores)

4to | Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad

Memoria Académica



Universidad Politécnica Salesiana

**4to. Congreso
Internacional de Ciencia,
Tecnología e Innovación
para la Sociedad**

Memoria académica

Pablo Pérez Gosende, Pablo Parra Rosero y Andrea Vázquez Martínez
(Coordinadores)

4to. Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad

Memoria académica



2018

**4TO. CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA
E INNOVACIÓN PARA LA SOCIEDAD. MEMORIA ACADÉMICA**

Pablo Pérez Gosende, Pablo Parra Rosero y Andrea Vázquez Martínez (Coordinadores)

1ra Edición: © Universidad Politécnica Salesiana
Av. Turuhayco 3-69 y Calle Vieja
Casilla: 2074
P.B.X.: (+593 7) 2050000
Fax: (+593 7) 4088958
e-mail: rpublicas@ups.edu.ec
www.ups.edu.ec
Cuenca-Ecuador

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN UPS,
sede Guayaquil

Diseño, diagramación
e impresión: Editorial Universitaria Abya-Yala
Quito Ecuador

ISBN: 978-9978-10-312-8

Derechos de autor 053841

Impreso en Quito-Ecuador, julio 2018

Publicación arbitrada de la Universidad Politécnica Salesiana

Comité de Honor

P. Francisco Sánchez, sdb. Canciller de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
P. Javier Herrán Gómez, sdb. PhD. Rector de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Humberto Michinel, PhD. Secretario General de la Comisión Internacional de Óptica (ICO), España
Carlos Lozano Garzón, MSc. Director IEEE ComSoc, Región Latinoamérica, Colombia
Salvatore Patera, PhD. Presidente de la Asociación de Spinoffs y Startups de la región de Apulia, Italia
Pedro Fernández de Córdoba, PhD. Coordinador del Grupo de Modelización Interdisciplinar (InterTech) de la Universidad Politécnica de Valencia, España
Enrique Santos Jara, PhD. Presidente del Consejo de Educación Superior
Gabriel Galarza, PhD. Presidente del Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior
Augusto Barrera, Dr. Secretario de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación

Comité Organizador

Juan Pablo Salgado, MSc. Vicerrector de Investigación, Universidad Politécnica Salesiana
Andrés Bayolo Garay, Eco. Vicerrector de Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana
Pablo Pérez Gosende, MSc. Coordinador de Investigación de Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
María Isabel Carpio, Lcda. Coordinadora de Valorización del Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica Salesiana
Luis Álvarez Rodas, PhD. Secretario Técnico de Comunicación, Universidad Politécnica Salesiana
Pablo Parra Rosero, PhD. Coordinador del Grupo de Investigación en Procesos Industriales (GIPI), Universidad Politécnica Salesiana
Andrea Vázquez Martínez, PhD. Miembro del Consejo de Investigación de Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana
Álex Parra Rosero, MBA. Miembro del Consejo de Investigación de Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana
César Andrade Martínez, MSc. Director Técnico de Comunicación, Sede Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana

Comité Científico

Pablo Parra Rosero, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Humberto Michinel, PhD. Universidad de Vigo, España
Carlos Lozano Garzón, PhD. Universidad Católica de Colombia, Colombia
Pedro Fernández de Córdoba, PhD. Universidad Politécnica de Valencia, España
Nervo Xavier Verdezoto, PhD. University of Leicester, Reino Unido
Daniel Gamermann, PhD. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Ángel Torres-Toukourmidis, PhD. Universidad de Huelva, España
Salvatore Patera, PhD. Universidad de Salento, Italia
Cristina Jenaro Río, PhD. Universidad de Salamanca, España
Julián Triana Dopico, PhD. Post-doctoral position in Arizona State University, E.U.A.
Noelia Flores Robaina, PhD. Universidad de Salamanca, España
Rafael Palacios Bustamante, PhD. Consultor Internacional, Alemania
Higinio Sánchez, PhD. Universidad de Cádiz, España
Gilberto Reynoso Meza, PhD. Pontificia Universidade Católica do Paraná, Brasil
Francisco Jurado, PhD. Universidad de Jaén, España
Carmen Moret Tatay, PhD. Universidad Católica de Valencia, España
Joan Vázquez Molina, PhD. Universidad de Guayaquil, Ecuador
Zulay Niño Ruiz, PhD. Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador
Carlos Monsalve, PhD. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
Federico Domínguez Bonini, PhD. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador
Miguel A. García Bereguain, PhD. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Andrea Vázquez Martínez, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Mónica Karel Huerta, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Mariela Cerrada Lozada, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Germán Arévalo Bermeo, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Esteban Mauricio Inga Ortega, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Jack Bravo Torres, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Diego Cabrera Mendieta, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Fredí Portilla, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Pablo Pérez Gosende, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Manuel Ernesto Delgado, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
María Elena Maldonado, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Yoandris Sierra, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Pedro González, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Eddy Conde Lorenzo, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Moisés Toapanta, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Julio Viola, PhD. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Eduardo Calle Ortiz, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Sheila Serrano Vincenti, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador
Joe Llerena Izquierdo, MSc. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Índice

Presentación	37
WORKSHOPS	15
CONFERENCIAS MAGISTRALES	21
SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA EDUCACIÓN	35
READING AND WRITING IN VIRTUAL ENVIRONMENTS FOR STUDENTS WITH HEARING DISABILITY Lectoescritura en entornos virtuales para estudiantes con discapacidad auditiva	37
<i>A. Toral, M. Loaiza</i>	
THE USE OF VIDEO RECORDINGS AS A RESOURCE FOR THE EVALUATION OF LEARNING KNOWLEDGE El uso de grabaciones por video como recurso de evaluación de conocimientos de aprendizajes	47
<i>J. Llerena, R. Ayala</i>	
GAME LITERACY AND ITS CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF DIGITAL AND MEDIA SKILLS La alfabetización lúdica y su contribución al desarrollo de las habilidades digitales y mediáticas	63
<i>A. Torres, L. Romero, I. Aguaded</i>	
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DIDACTIC SPEED CONTROLLER SYSTEM FOR A BRUSHLESS DC MOTOR Diseño e implementación de un sistema didáctico de control de velocidad para un motor BLDC	73
<i>N. Vega, P. Fuentes, J. Peñafiel, B. Romero, M. Romero</i>	
DIGITAL RESOURCES IN THE EDUCATIONAL PROCESS FOR THE DEVELOPMENT OF UNIVERSITY TEACHING Recursos digitales en el proceso educativo para el desarrollo de la docencia universitaria	85
<i>F. Gordillo, F. Romero, V. Cos</i>	
HOW TO LEARN LINEAR PROGRAMMING BY MODELING DAILY LIFE PROBLEMS IN A SPREADSHEET? ¿Cómo aprender programación lineal modelando problemas de la vida diaria en una hoja de cálculo?	93
<i>L. Garcés-Villón</i>	
SCHOOL RETENTION AND THE MOTIVATIONAL FACTOR IN UNIVERSITY ENGINEERING STUDENTS La retención escolar y el factor motivacional en alumnos universitarios de ingeniería	103
<i>A. Cedeño, P. González</i>	
SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA EL AMBIENTE	111
URBAN AGRICULTURE AND CONTAMINATION BY LEAD, BACTERIA AND CO ₂ AT UPS CUENCA Agricultura urbana y la contaminación por plomo, bacterias y CO ₂ en la UPS Cuenca	113
<i>F. Portilla, J. Galarza</i>	
EVALUATION OF THE CARBON PRINT OF A UNIVERSITY FOR THE ENERGY EFFICIENCY POLICY Evaluación de la huella de carbono de una universidad para la política de eficiencia energética ...	123
<i>N. Mendieta</i>	

IMMOBILIZATION OF LIPASES FROM <i>ASPERGILLUS NIGER</i> FOR THE TREATMENT OF WATER CONTAMINATED WITH FATS Inmovilización de lipasas provenientes de <i>Aspergillus Niger</i> para el tratamiento de aguas contaminadas con grasas.....	135
<i>K. Rosero, E. Mediavilla, Z. Lozano</i>	
ADSORPTION OF CADMIUM ONTO AN ECUADORIAN ANDOSOL Adsorción de cadmio sobre un andosol ecuatoriano	143
<i>J. Silva-Yumi, N. Veloz, D. Moyano</i>	
ANALYSIS AND APPLICATION OF A PERMANENT MAGNET GENERATOR FOR A WIND ENERGY SYSTEM Análisis y aplicación de un generador de imanes permanentes para un sistema de energía eólica ...	155
<i>M. Rodríguez, M. León, D. Cárdenas, C. Chávez, G. Ampuño</i>	
SENSITIVE ANALYSIS OF PRODUCTION PARAMETERS OF <i>JATROPHA</i> AND MINERAL BASE OILS CONSIDERING THE LIFE CYCLE Análisis sensitivo de los parámetros de producción de aceites de base de <i>jatropha</i> y mineral considerando el ciclo de vida	165
<i>P. Gallardo</i>	
TOWARDS A SUSTAINABLE BIOECONOMY: AN APPROACH FROM ECUADOR Hacia una bioeconomía sostenible: un enfoque desde Ecuador	175
<i>D. Ortega-Pacheco, A. Silva, A. López, R. Espinel, D. Inclán y M. Mendoza-Jiménez</i>	
VEGETAL REGENERATION MODELING RATE COMPUTING ENVIRONMENTAL INDICES FROM REMOTE SENSING DATA IN QUITO METROPOLITAN PARK Modelamiento en la tasa de regeneración vegetal con el cálculo de índices ambientales a partir de imágenes satelitales en el Parque Metropolitano de Quito.....	187
<i>C. Álvarez, L. Ramírez</i>	
REDUCTION OF ENVIRONMENTAL IMPACT GENERATED BY HOME SOLID WASTE WITH THE USE OF LARVA OF BEETLE IN COLOMBIA Disminución del impacto ambiental generado por residuos sólidos domiciliarios en Colombia con el uso de larvas de escarabajos	201
<i>L. Cuellar, P. Acosta, M. Díaz, G. Viasus</i>	
ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL TAXES IN ECUADOR Análisis de los impuestos ambientales en Ecuador	205
<i>B. Garabiza, V. Pluas, E. Ladinez, V. Rojas</i>	
ESTIMATION OF THE WATER BALANCE OF THE CHAQUILCAY WATERSHED IN THE INTERCEPTION AREA WITH AGUARONGO FOREST, GUALACEO - ECUADOR Estimación del balance hídrico de la microcuenca Chaquilcay en el área de intersección con el bosque protector Aguarongo, Gualaceo - Ecuador	217
<i>P. Duque, R. Cajamarca</i>	
SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA SALUD.....	229
TELEMEDICINE IN THE PRE-PROFESSIONAL INTERNSHIP PROGRAM La telemedicina en las prácticas pre-profesionales	231
<i>L. Vásquez, E. Hernando</i>	
PROPOSAL OF A MEASUREMENT SYSTEM FOR THE MOOD STATE OF PEOPLE THROUGH THE CARDIAC SIGNALS AND ELECTRODERMAL RESISTANCE Propuesta de un sistema para medir el estado de ánimo de las personas a través de las señales cardíacas y resistencia electrodérmica.....	239
<i>K. Avilés González, J. Ramos Avecillas, L. Serpa Andrade</i>	

PREVALENCE OF MUSCULOSKELETAL DISCOMFORT IN UNIVERSITY STUDENTS FROM GUAYAQUIL Prevalencia de molestias músculo-esqueléticas en estudiantes universitarios de Guayaquil.....	249
<i>P. Pérez-Gosende, K. Torres, A. Furlan</i>	

OBTAINMENT AND PURIFICATION OF FICIN FOR ITS POSSIBLE USE AS A NATURAL BLOOD ANTICOAGULANT Obtención y purificación de Ficina para su posible uso como anticoagulante natural	261
<i>W. Rosero, R. Ávalos</i>	

ELECTRONIC SYSTEM FOR WEIGHT LIFT CONTROL AND MONITORING Sistema electrónico para el control y monitoreo del levantamiento de peso.....	275
<i>J. Castillo-Guerrero, A. Aguilar-Ramon</i>	

CITOTOXIC AND APOPTOTIC ACTIVITY OF EXTRACTS FROM LEAVES AND JUICE OF PASSIFLORA EDULIS Actividad citotóxica y apoptótica de los extractos de hojas y jugo de Passiflora Edulis	287
<i>J. Aguillón, S. Arango, D. Uribe, C. Cuervo, S. Hurtado</i>	

SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA INFORMACIÓN Y LAS TELECOMUNICACIONES

299

DESIGN AND BENEFITS OF A PSYCHOMETRIC ASSESSMENT TOOL USING VISUAL BASIC FOR APPLICATION Diseño y beneficios de una herramienta de evaluación psicométrica utilizando Visual Basic For Application	301
<i>J. Ocampo, J. Pulupa, A. Knezevich</i>	

POTENTIAL USE OF THE STANDARD IEEE 802.11AF IN THE SPECTRUM FOR THE VHF AND UHF BANDS IN URBAN AREAS Uso potencial del estándar IEEE 802.11af en el espectro radioeléctrico para las bandas VHF y UHF en zonas urbanas.....	311
<i>J. Jiménez, O. Martínez, J. Ribadeneira, S. Manzano</i>	

SALESIAN GEOPORTAL IN ECUADOR: A ROAD BETWEEN CATHEDRAL AND BAZAAR Geoportel Salesiano en el Ecuador un camino de la Catedral al Bazar	327
<i>G. Navas, R. Llerena y P. Prieto</i>	

RECOMMENDING SYSTEM OF MOBILE APPLICATIONS FOR PERSONAL CARE IN CHILDREN WITH DISABILITIES BASED ON HIERARCHICAL AGGLOMERATIVE CLUSTERING Sistema recomendador de aplicaciones móviles para el cuidado personal en niños con discapacidad basado en conglomerados aglomerativos jerárquicos.....	341
<i>D. Quisi, V. Saquicela</i>	

AUTONOMOUS AERIAL SURVEILLANCE SYSTEM Sistema autónomo de vigilancia aérea	353
<i>E. Cuzco, R. Samaniego</i>	

AN INFORMATION SECURITY APPROACH IN THE ARMED FORCES OF ECUADOR Un enfoque de la seguridad de la información en las Fuerzas Armadas del Ecuador	367
<i>J. Guamán, M. Toapanta, J. Orizaga</i>	

SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA

273

INTELLIGENT SEMAPHORES, TO IMPROVE TRAFFIC IN THE HISTORIC CENTER IN THE CITY OF CUENCA Semáforos inteligentes, para mejorar el tránsito en el centro histórico en la ciudad de Cuenca....	375
<i>I. Cuzco, B. Pinos, P. Vidal, I. Yambay, W. Verdugo</i>	

EX POST COMPETITIVENESS OF THE ECUADORIAN METAL-MECHANIC INDUSTRY Competitividad ex post de la industria metalmecánica en Ecuador	389
<i>P. Pérez-Gosende, C. Lucín-Castillo</i>	

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A WIRELESS NETWORK CONTROL SYSTEM FOR DC VOLTAGE CONTROL Diseño e implementación de un sistema de control inalámbrico para control de voltaje DC	407
<i>D. Zapata, A. Terán, C. Pillajo</i>	
PREDICTING THE RISK OF NON-PAYMENT THROUGH A MATHEMATICAL MODEL USING SIMULATED DATA Predicción del riesgo de no pago mediante un modelo matemático con datos simulados	421
<i>R. Morales, M. Valdez</i>	
JOHNSON'S ALGORITHM FOR THREE MACHINES IN THE PRODUCTION PLANNING OF A GRAPHIC INDUSTRY Algoritmo de Johnson para tres máquinas en la planificación de la producción de una industria gráfica	431
<i>T. Rojas</i>	
MODELING AND CONTROLLING pH IN THE NEUTRALIZATION PROCESS OF WASTEWATER Modelado y control de Ph del proceso de neutralización de aguas residuales	441
<i>M. Miranda</i>	
THE PERSONAL INTERACTION AND ITS EFFECT ON THE SERVICE QUALITY OF COURIER COMPANIES La interacción personal y su efecto en la calidad del servicio de las empresas courier	455
<i>E. Santos, F. Villacrés, R. Álvarez</i>	
NUMERICAL COMPARISON OF STANDARD K-E AND REALIZABLE K-E TURBULENCE MODELS IN MULTI-PHASIC FLUIDS Comparación numérica de los modelos de turbulencia $K-\epsilon$ estándar y $K-\epsilon$ realizable en fluidos multifásicos	469
<i>L. Toapanta, C. Nieto-Londoño, W. Quitiaquez</i>	
OPTIMIZATION OF THE ADJUSTMENT TIMING OF THE DISTRIBUTION OF A SUZUKI G13B TWIN CAM ENGINE BY DOE Optimización de las cotas de reglaje de la distribución de un motor Suzuki G13B twin cam mediante diseño experimental	483
<i>N. Rivera, A. Bermeo, J. Bustos, C. Espinoza</i>	
THE EFFECT OF SECURITY AND RELIABILITY IN THE QUALITY OF SERVICE El efecto de la seguridad y confiabilidad en la calidad del servicio	493
<i>F. Villacrés, R. Álvarez, J. Carabali</i>	
EVENT-BASED PREDICTIVE CONTROLLER FOR THE BEAM AND BALL SYSTEM USING A WNCS Controlador predictivo basado en eventos para el sistema de viga-bola utilizando un WNCS	505
<i>C. Pillajo, A. Bonilla, R. Hincapié</i>	
IMPLEMENTATION OF AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM USING A RASPBERRY PI 3, CONSIDERING THE GUIDELINES OF THE STANDARD ISO 50001 APPLIED TO DOMESTIC LOADS Implementación de un sistema de administración energética mediante Raspberry Pi 3, bajo las condiciones de la norma ISO 50001 aplicado a cargas domésticas	519
<i>A. Román, C. Reyes-López</i>	
PROPOSAL OF A FUNCTIONAL CONSUMER PRODUCT (BREAD) BASED ON SOYA, MÁCHICA, AMARANTO AND CHIA Propuesta de un producto funcional de consumo (pan) a base de Soya, Máchica, Amaranto y Chía	533
<i>G. Arciniega, F. Jaramillo, P. Muñoz</i>	
COMPLEX REFRACTIVE INDEX SNELL-DESCARTES LAW IN FOUR-FLUX AND TWO-FLUX MODELS FOR SUSPENDED PARTICLE DEVICE SMART WINDOWS Ley de Snell-Descartes para índice de refracción complejo en los modelos de cuatro flujos y de dos flujos para ventanas inteligentes de dispositivos de partículas suspendidas	545
<i>D. Barrios, C. Álvarez</i>	

RESÚMENES DE POSTERS.....	571
NUMERICAL STUDY OF CHANGE OF PHASE INSIDE A STEAM PIPE Estudio numérico del cambio de fase al interior de una tubería de vapor	573
<i>L. Toapanta C. Nieto-Londoño W. Quitiaquez</i>	
EFFECTS OF THE GASOLINE-ETHANOL MIXTURE ON AN ENGINE THROUGH ANALYSIS OF VIBRATION SPECTROS AND GASES Efectos de la mezcla gasolina-etanol en un motor mediante el análisis de gases y espectros de vibración	574
<i>A. Bermeo C. García M. Carpio F. Cedillo</i>	
ISOLATION AND QUANTIFICATION OF B-ACTIN, RUANS AND RuMY10 GENES INVOLVED IN THE EXPRESSION OF ANTHOCYANINS IN MORA DE CASTILLA BY RT-qPCR Aislamiento y cuantificación de los Genes β -actin, RuANS y RuMYB10, involucrados en la expresión de antocianinas en Mora de castilla mediante RT-qPCR	575
<i>V. Chiluisa-Utreras J. Chicaiza S. Peñaherrera</i>	
PROPOSAL OF A METHODOLOGY FOR MEASURING NON-IONIZING RADIATION EMITTED BY WIRELESS COMMUNICATIONS TECHNOLOGIES EMBEDDED IN MOBILE DEVICES Propuesta de una metodología de medición de radiaciones no ionizantes emitidas por tecnologías de comunicaciones inalámbricas de dispositivos portátiles	576
<i>C. Reyes-López</i>	
CRYOPRESERVATION OF ELLEANTHUS CAPITATUS, A NATIVE ECUADORIAN ORCHID Crioconservación de <i>Elleanthus capitatus</i> , una orquídea nativa del Ecuador	577
<i>I. Vaca E. Cueva B. Moya</i>	
GREENHOUSE TRIALS OF STRAINS OF BACILLUS SUBTILIS AS A BIOCONTROL AGENT OF ALTERNARIA SPP. IN BRASSICA OLERACEA VAR ITALICA Pruebas bajo invernadero de cepas de <i>Bacillus subtilis</i> como agente de biocontrol de <i>Alternaria</i> spp. en brassica oleracea var italica	578
<i>R. Acurio S. Caicedo J. Chacón</i>	
CAPACITY OF A SOCIETY TO PROVIDE HEALTHY PEOPLE: A CASE STUDY Capacidad de una sociedad para proporcionar personas sanas: caso de estudio	579
<i>L. Caamaño</i>	
EMULATION OF A PID CONTROLLER IN RASPBERRY PI FOR A WNCS Emulación de un controlador PID en Raspberry Pi para una WNCS.....	580
<i>D. Soberon A. Bonilla C. Pillajo</i>	
RELEVANT ACTIVITIES IN SOFTWARE PROCESS IMPROVEMENT Actividades relevantes en la mejora de procesos software.....	581
<i>V. Jurado S. Coque G. Pizarro</i>	
QR CODES AS A LEARNING TOOL FOR QUICK AND DIRECT ACCESS TO ACADEMIC INFORMATION OF INTEREST Códigos QR como herramienta de aprendizaje de acceso rápido y directo a la información académica de interés.....	582
<i>J. Cueva R. López N. Sumba</i>	
INNOVATION IN STAINLESS STEEL IRON CUT PROCESSES IN METALMECANIC COMPANIES OF ECUADOR Innovación en procesos de corte de plancha de acero inoxidable en las empresas metalmecánica del Ecuador	583
<i>M. Morales</i>	

SOME CONFIGURATIONS OF ISOLATED SYSTEMS OF RENEWABLE ENERGY ,
APPLIED IN RURAL ANDEAN ZONES
Diferentes configuraciones de sistemas aislados de energía renovable,
aplicado en zonas andinas rurales..... 584
J. Macancela- J. Lata

RECOGNITION OF CHARACTERS AND HANDWRITTEN STROKES FOR INITIAL EDUCATION STUDENTS
Reconocimiento de caracteres y trazos manuscritos para estudiantes de educación inicial..... 585
M. Gómez- M. Quiroz

THE CARBON FOOTPRINT IN THE COMMUNITY CROPS OF QUÍNOA (CHENOPODIUM QUINOA WILD)
FROM THE CENTRAL ZONE OF THE ECUADORIAN ANDES
Estimación de la huella de carbono en los cultivos comunitarios de Quínoa
(Chenopodium quinoa wild) correspondientes a la zona central de los Andes ecuatorianos 586
L. Ramírez-Cando- R. Vilches- C. Álvarez- I. Pinzón

EDUCATIONAL INCLUSION OF STUDENTS WITH DISABILITIES AT UPS GUAYAQUIL
Inclusión educativa de estudiantes con discapacidad en la UPS sede Guayaquil 587
B. Naranjo

PREMIOS..... 589

Presentación

El IV Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad, CITIS 2017, realizado del 29 de noviembre al 1 de diciembre de 2017 y organizado por la Universidad Politécnica Salesiana, ofreció a la comunidad académica nacional e internacional una plataforma de comunicación unificada, dirigida a cubrir los problemas teóricos y prácticos de mayor impacto en la Sociedad moderna desde la Ingeniería.

En esta edición los ejes temáticos estuvieron relacionados con la aplicación de la ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación en seis sectores fundamentales de nuestra sociedad: la Educación, el Ambiente, la Salud, la Industria, la Información y las Telecomunicaciones.

El comité científico estuvo conformado por cuarenta investigadores procedentes de siete países: España, Reino Unido, Colombia, Brasil, Italia, Estados Unidos y Ecuador. Fueron recibidas 152 contribuciones, de las cuales 47 fueron aprobadas en forma de ponencias y 16 en formato poster. Estas contribuciones de las voces de ponentes procedentes de México, Colombia y Ecuador fueron presentadas de forma oral ante toda la comunidad académica que se dio cita en el congreso. La audiencia, por su parte, desde el Aula Magna de la UPS, el Auditorio y la Sala de usos múltiples, cumplió respetuosamente la responsabilidad de representar a toda una Sociedad en la revisión, aceptación y validación del conocimiento nuevo que fue presentado en cada exposición por los investigadores.

El Congreso contó con cuatro Workshops y espacios de presentación de Posters Científicos. También en el marco del evento se impartieron un total de trece Conferencias Magistrales en temas tan actuales como la economía de la innovación y su impacto en Ecuador, los retos de la iluminación LED inteligente, comunicaciones cooperativas en Smart Cities, aplicaciones de objetos inteligentes en ambientes de aprendizaje, aplicaciones de la *Internet of Things* (IoT) a la salud, potencial de la biomasa como sustituto de combustibles fósiles en la industria, medición de la talla funcional de software, redes ópticas de nueva generación, diagnóstico de fallas en procesos industriales, nuevas tecnologías y discapacidad, entre otros.

Querido lector, esperamos que esta Memoria Académica no sea solo un libro más en su biblioteca personal, sino un libro de consulta cotidiana durante 2018, en donde pueda encontrar ideas frescas para nuevos proyectos de investigación e inspiración para seguir aportando en este proceso de transformación del entorno próximo, que realizamos desde la academia a través de la investigación.

Estamos seguros de que lo estaremos viendo nuevamente en CITIS 2018, para seguir aportando nuestro grano de arena al avance de la ciencia, la tecnología y la innovación en el Ecuador, orientados a una Sociedad más justa, equitativa y solidaria.

Ing. Pablo Pérez Gosende, MSc.

Coordinador de Investigación de Sede
Universidad Politécnica Salesiana-Sede Guayaquil

PhD. Pablo Parra Rosero

Coordinador del Grupo de Investigación en Procesos Industriales (GIPI)
Universidad Politécnica Salesiana-Sede Guayaquil

PhD. Andrea Vázquez Martínez

Miembro del Consejo de Investigación de Sede
Universidad Politécnica Salesiana-Sede Guayaquil

WORKSHOPS

Workshop 1: Usos y abusos de la tecnología: cómo evaluar, prevenir e intervenir con personas con discapacidad

Contenidos

- Usos adecuados, excesivos e inadecuados de la tecnología por personas con discapacidad
- Control de la Salud
- Consecuencias de la adicción o uso patológico del móvil e internet
- Ciberbullying
- Pautas para el desarrollo de investigaciones centradas en el uso de la tecnología

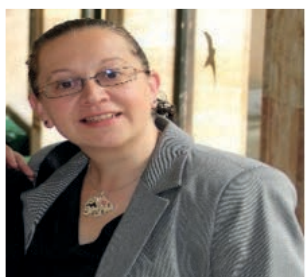
Instructoras

PhD. Cristina Jenaro Río, España



PhD. en Psicología. Catedrática de la Facultad de Psicología de la Universidad de Salamanca. Directora del Máster en Psicología General Sanitaria. Doctora Honoris Causa por la Universidad de Mendoza. Cuenta con más de 600 publicaciones entre revistas, libros y presentaciones en congresos.

PhD. Noelia Flores, España



Profesora de la Facultad de Psicología de la Universidad de Salamanca. Psicóloga general sanitaria. Es Investigadora del INICO y miembro del Grupo de Investigación en Discapacidad. Cuenta con más de 350 publicaciones entre revistas, libros y presentaciones en congresos.

Fecha: 29 de noviembre

Horario: 09h00 a 13h00

Lugar: Auditorio, Edificio D, 1er piso

Universidad Politécnica Salesiana

Robles 107 y Chambers, Guayaquil, Ecuador

Workshop 2: Generación fotovoltaica y su integración en las redes inteligentes

Contenidos

- Visión general de la generación fotovoltaica: sistemas aislados y sistemas conectados a la red
- Los paneles fotovoltaicos, características y modelos
- Conversión DC-DC y el sistema de almacenamiento de energía
- Conversión DC-AC
- Acoplamiento a la red eléctrica
- Sistemas aislados

Instructor

PhD. José Manuel Aller Castro, Venezuela



Ingeniero Electricista, mención Cum Laude por la Universidad Simón Bolívar de Venezuela y Magíster en Ingeniería Eléctrica por la Universidad Central del mismo país. En 1993 se tituló de Doctor en Sistemas de Energía Eléctrica, mención Cum Laude en la Universidad Politécnica de Madrid. En sus 37 años de actividades académicas se ha centrado en el área de la Conversión de Energía Eléctrica y Electrónica de Potencia. Ha publicado más de 120 artículos científicos y técnicos en revistas arbitradas y congresos internacionales. Desde 2016 es profesor titular de la Universidad Politécnica Salesiana en su Sede de Cuenca en la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Fecha: 29 de noviembre

Horario: 14h00 a 18h00

Lugar: Auditorio, Edificio D, 1er piso

Universidad Politécnica Salesiana

Robles 107 y Chambers, Guayaquil, Ecuador

Workshop 3: La investigación en la era digital: claves en el estudio del comportamiento humano

Contenidos

- Principios del uso de las TIC en las ciencias del comportamiento
- Evaluación mediante la creación de cuestionarios online en investigación
- Principales modelos de adopción de las TIC y otras variables inherentes al proceso

Instructora

PhD. Carmen Moret Tatay, España



Licenciada en Psicología por la Universidad de Valencia y Doctora Cum Laude en Matemáticas por la Universidad Politécnica de Valencia. Profesora e investigadora de la Universidad Católica de Valencia, miembro del Grupo de Investigación MEB Lab (Mind, Emotion and Behavioural Research Laboratory) y miembro del panel de expertos del SEPIE dentro del programa Erasmus+.

Fecha: 29 de noviembre

Horario: 09h00 a 13h00

Lugar: Laboratorio de cómputo, Edificio D, 3er piso

Universidad Politécnica Salesiana

Robles 107 y Chambers, Guayaquil, Ecuador

Workshop 4: Proceso editorial para la indexación de revistas científicas a Scopus

Contenidos

Dimensiones de la revista científica

- Órgano de difusión
- Eje de discusión
- Estado del arte
- Voz de una comunidad científica

Nuevas tecnologías aplicadas a la comunicación científica

- XML y su estandarización
- Formatos de lectura
- Visibilidad, difusión y alcance

Actualidad y retos de la revista científica, nuevos planteamientos

- Proceso editorial tradicional vs. Formatos automáticos
- Periodicidad
- Prioridades y visión de futuro

Moisés Moreno, Consultor Scopus Elsevier

Ingeniero Cibernético y en Sistemas Computacionales con excelencia por la Universidad la Salle. Magister en Finanzas del Instituto Tecnológico Autónomo de México. Trabajó en la empresa Thomson Reuters como consultor. Actualmente se desempeña como consultor en Elsevier en el área de Research Intelligence, responsable de la región Latinoamérica Norte.

Fecha: 29 de noviembre

Horario: 09h00 a 13h00

Lugar: Sala de Usos Múltiples, Edificio D, 1er piso

Universidad Politécnica Salesiana

Robles 107 y Chambers, Guayaquil, Ecuador

CONFERENCIAS MAGISTRALES

Dr. Rafael Palacios Bustamante, Alemania



Rafael Palacios Bustamante es Investigador, Consultor Internacional y Académico del Programa “How Germany Innovate. Sociólogo con Maestría en Gestión y Política de la Innovación en la Universidad Central de Venezuela. Doctorado y Postdoctorado en Política Científica, Tecnológica y de Innovación en América Latina (Ambos en la Universidad de Tübingen, Alemania). Asesor Académico y Profesor Invitado en

distintas universidades latinoamericanas: Desarrollo de nuevos conceptos en el campo de la transferencia de tecnología internacional aplicadas al sector público y privado del Sistema Nacional de Innovación. Es miembro y coordinador permanente del Comité Científico Internacional de Ciencia y Tecnología RC23 de la Asociación Mundial de Sociología. Fue Director de Innovación del Instituto Internacional de Estudios Avanzados en Venezuela (2009-2011). Ha escrito libros y un número importante de artículos científicos.

“Los riesgos del Ecuador en la economía de la innovación”

Tanto la globalización como el cambio tecnológico están desarrollándose de forma muy acelerada. La economía reacciona de acuerdo a la capacidad innovativa que poseen los países. En este contexto se exige de “Estados inteligentes”; y de “gobiernos inteligentes” que permitan ante estos dos fenómenos, una adaptación acelerada de sus capacidades tecnológicas endógenas, y al mismo tiempo que permitan movilizar la economía sosteniendo la productividad y los mercados de exportación. Para el caso de América Latina, se trata de poder enfrentar una dinámica que no es controlada por los países que conforman la región y en consecuencia deben estos adaptar con mayor complejidad estrategias tecnológicas y económicas nacionales.

El objetivo de esta conferencia es dilucidar los riesgos y amenazas del cambio tecnológico cuando la capacidad de innovación no está soportada por “Estados y políticas inteligentes”. La noción de “Estado inteligente” se corresponde con la capacidad de poder movilizar y flexibilizar el Sistema Nacional de Innovación, sin afectar la permanente producción de conocimiento, ni las fuentes que la generan. Asimismo, el “Estado inteligente” genera una capacidad innovativa que se corresponde con la adaptación de nuevas olas o paradigmas tecnológicos y con la conformación de una base de conocimiento que es utilizada por los actores que orientan la demanda. La conferencia adaptará el contexto problemático enunciado al caso ecuatoriano, utilizando como referencia un conjunto de investigaciones y resultados en el campo de la política de innovación para el caso de América Latina.

PhD. Humberto Michinel – Secretario General de la Comisión Internacional de Óptica, España



El profesor Humberto Michinel es en la actualidad director del Optics Lab de la Universidad de Vigo (España). Es director del Máster Universitario en Fotónica y Tecnologías del Láser que imparten de manera conjunta las tres universidades de Galicia desde 2006. Estudió física en las universidades Complutense de Madrid y de Santiago de Compostela (España), doctorándose en esta última en 1996 y obteniendo la cali-

ficación Cum Laude por sus investigaciones en el campo de la óptica no lineal. Es co-autor de más de cien trabajos científicos y ha dirigido nueve tesis doctorales sobre distintas tecnologías de la luz (fotónica). Desde 2011 a 2017 ha sido vicepresidente de la comisión internacional de óptica (ICO) que engloba a sesenta países y desde 2017 es Secretario General de ICO y presidente-electo de la Sociedad Europea de Óptica. El profesor Michinel ha organizado asimismo numerosos congresos internacionales entre los que destacan la X Reunión Nacional de Óptica (Ourense, 2009) el NLQGAS-10 (Ourense, 2010), Nonlinear Guided Waves-V (Santiago de Compostela, 2012) o el ICO-23 (Santiago de Compostela, 2014). Ha dirigido numerosos proyectos de investigación del gobierno de España y ha fundado, junto con otros socios, la primera empresa de base tecnológica de su campus, ERH-ILLUMNIA, participada por la Universidad de Vigo y especializada en el ámbito de la iluminación LED y proyectos de ingeniería electrónica y aeroespacial.

Conferencia: “Retos de una iluminación LED inteligente”

En la presente ponencia se describe el estado actual de los sistemas de iluminación LED y se hace un breve repaso de la evolución de dicha tecnología, así como de sus perspectivas futuras haciendo especial hincapié en la incorporación de nuevos sistemas que convertirán a los LED en sistemas de iluminación idóneos para las futuras “smart-cities”.

**PhD. Carlos Lozano Garzón, Director IEEE
ComSoc Región Latinoamérica, Colombia**



Carlos A. Lozano-Garzón es Doctor en Ingeniería de la Universidad de los Andes en Bogotá, Colombia; y Doctor en Tecnología de la Universitat de Girona en Girona, España. Actualmente se desempeña como Coordinador de los Posgrados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Colombia e Investigador Posdoctoral de la Universidad de los Andes.

Se ha desempeñado en varias posiciones en IEEE y en las Sociedades de Comunicaciones y Computación, entre ellas: Director para Latinoamérica de la Sociedad de Comunicaciones (2016 al presente), Miembro del IEEE New Initiative Committee (enero 2014-diciembre 2014), Presidente de la Sección Colombia (enero 2011-diciembre 2012), entre otros. También fue presidente de la Conferencia Colombiana IEEE de Comunicaciones y Computación (IEEE COLCOM) varias veces; Copresidente de la Conferencia IEEE Latinoamericana de Comunicaciones 2009 (IEEE LATINCOM), y Conferencia del Consejo Andino IEEE - ANDESCON 2010; además se desempeñó como Vicepresidente de Publicidad para América Latina de IEEE GLOBE-COM 2015.

“Comunicaciones Cooperativas en entornos de Ciudades Inteligentes”

El desarrollo de las llamadas Ciudades Inteligentes ha traído consigo un crecimiento continuo en el número de suscripciones y nuevos servicios y/o aplicaciones desplegadas, generando un aumento significativo del tráfico de datos cursado a través de las redes. Dentro de los principales inconvenientes producidos por este continuo crecimiento están los relacionados con capacidad, cobertura e interferencia a nivel de la red de acceso, especialmente en las zonas de la ciudad densamente pobladas.

Por tanto, los operadores deben estar en un continuo proceso de optimización de sus estrategias de gestión de los recursos asociados a la infraestructura de red, buscando resolver no solamente los problemas técnicos que se puedan presentar, sino que adicionalmente les permita aumentar los índices de satisfacción de los usuarios. Con la finalidad de abordar este tipo de problemas de gestión, el 3GPP propuso un conjunto de técnicas de cooperación entre estaciones base llamada Cooperación Coordinada Multi-Punto (CoMP). Estas técnicas, busca la interacción entre estaciones base vecinas con el objetivo de mejorar el rendimiento de la red, especialmente en los bordes de las celdas; y de mejorar la calidad de los datos recibidos en los dispositivos de los usuarios.

PhD. Pedro Fernández de Córdoba
Universidad Politécnica de Valencia, España



Pedro Fernández de Córdoba terminó los estudios de Física en 1988, en la Universidad de Valencia (España), donde defendió su tesis doctoral en 1992, obteniendo el premio Extraordinario de Doctorado. Posteriormente defendió un segundo doctorado en 1997, en Matemáticas, en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

Desde su creación, es investigador responsable del Grupo de Modelización Interdisciplinar (InterTech) de la UPV. Además, es socio fundador de Energesis Ingeniería (empresa de base tecnológica de la UPV), cofundador de Illumnia (empresa de base tecnológica surgida de la Universidad de Vigo, dedicada al desarrollo de soluciones LED para iluminación eficiente) y cofundador de Energesis Natura S.A.S., nacida con la misión de desarrollar en Colombia proyectos tecnológicos con alto contenido innovador.

En la actualidad, es catedrático de universidad (full professor) de la UPV.

Así mismo, fue vocal de la Junta Directiva de la Red Española Matemática-Industria (math-in) desde su constitución el 30 de septiembre de 2011 hasta septiembre de 2015 y es miembro correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Doctor Honoris Causa por la Universidad de Pinar del Río (Cuba) y miembro de la Académie Nationale des Sciences, Arts et Lettres du Bénin. Así mismo, es profesor invitado ‘Ad Honorem’ de la Universidad del Magdalena (Colombia).

“ENERGESIS, un recorrido desde la investigación universitaria a la creación de empresas tecnológicas: investigación, diversificación e internacionalización”

En esta conferencia se presenta Energesis, un grupo empresarial nacido en el seno de la Universidad Politécnica de Valencia, España. Se hace un recorrido por las diferentes tecnologías desarrolladas en el área de la eficiencia energética en la edificación. Se prestará especial atención al carácter multidisciplinar de las tecnologías que se han impulsado y a las fuertes relaciones Universidad-Empresa en las que se enmarca su actividad. Así mismo, se hará especial hincapié en la diversificación del proyecto, en sus estrategias de internacionalización y se presentarán las principales alianzas empresariales establecidas.

PhD. Cristina Jenaro Río - Universidad de Salamanca, España



P Cristina Jenaro Río es Catedrática del Departamento de Personalidad, Evaluación y Tratamiento Psicológicos de la Facultad de Psicología de la Universidad de Salamanca. Es Directora de dicho Departamento desde 2012. Es también directora del Master Universitario en Psicología General Sanitaria de la Universidad de Salamanca. Es doctora Honoris Causa por la Universidad de Mendoza (Argentina). Ha dirigido

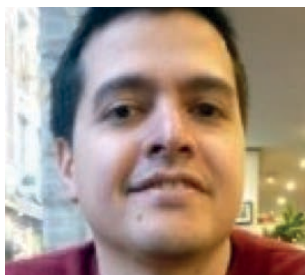
(o codirigido) 32 Tesis doctorales ya defendidas y 103 Trabajos Fin de Grado, Tesinas o Fin de Master. Cuenta con 127 publicaciones en revistas y 89 publicaciones en libros o capítulos de libros. Ha participado en 80 proyectos de investigación o contratos y en 26 proyectos de innovación docente y ha realizado 382 presentaciones en congresos. Sus líneas de investigación se relacionan con la discapacidad, antropología, salud, calidad de vida, calidad de vida laboral, actitudes, transición a la vida adulta e inclusión.

“La tecnología y la innovación al servicio de la salud: Evidencias y retos pendientes”

Se aborda el estado de la Telemedicina, E-salud y las aplicaciones de la tecnología en el tratamiento de problemas de salud físicos y psicológicos. Se presentan las principales conclusiones derivadas de estudios de revisión sistemática y meta-análisis. Se ofrece un ejemplo de empleo de uso de una aplicación para la mejora de hábitos saludables en población mayor, que ha sido desarrollado por el equipo de trabajo.

Se tratará sobre cómo la tecnología e innovación ha ayudado en la depresión, la ansiedad, las fobias y en enfermedades crónicas, entre otras. Además, se mostrará un ejemplo de uso de tecnología para la mejora de la salud.

PhD. Federico Domínguez Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador



P Federico Domínguez es docente en la Facultad de Electricidad y Computación de la ESPOL desde el 2014 e investigador en el área del Internet de las Cosas en el Centro de Tecnologías de Información. Es Ingeniero de Computación graduado en la ESPOL en el 2005. Obtuvo su maestría y doctorado en la Universidad Libre de Bruselas en el área de redes sensoriales para monitoreo ambiental en el 2014, implementando una red sensorial urbana de monitoreo de ruido ambiental. Su interés científico principal es: aplicaciones de redes sensoriales y del Internet de las Cosas en la educación.

“Aplicaciones de Objetos Inteligentes en Ambientes de Aprendizaje”

Los objetos inteligentes son objetos físicos cotidianos con computadores miniaturizados embebidos, los cuales permiten que el objeto sea capaz de sensor y controlar su ambiente y transmitir inalámbricamente esta información. Estos objetos son los elementos constituyentes del Internet de las Cosas, una tecnología emergente con aplicaciones en sistemas industriales, domótica, salud, y más. En el área de educación, a pesar de no existir aún muchas aplicaciones, los objetos inteligentes tienen un enorme potencial gracias a su capacidad de sensor su ambiente en tiempo real. Esto permite que estudiantes e instructores puedan explorar directamente los procesos o fenómenos que están estudiando, potenciando así el aprendizaje de conceptos complejos.

PhD. Mónica Huerta – Venezuela



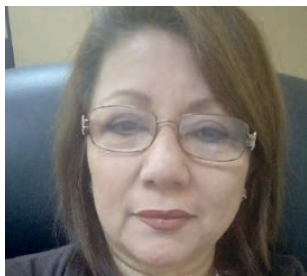
P Ingeniera electrónica y Magister en Ingeniería Biomédica, ambos títulos obtenidos en la Universidad Simón Bolívar (USB), Venezuela. En el 2006 obtuvo el título de Doctor en Ingeniería Telemática por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), España, con la distinción de Cum-laude. Entre el 2008 y el 2010 realizó dos Postdoctorados en la UPC y uno en la Universidad de Veracruzana, México. En 2010 fue

acreditada de una beca Erasmus Mundus de la Comunidad Europea para realizar actividades de investigación en la Universidad de Barcelona. Fue Profesora Titular, Decana de Estudios de Postgrado y Coordinadora del Doctorado en Ingeniería de la USB. Fue fundadora del Grupo de Redes y Telemática Aplicada (GRETA-USB). Es miembro Senior de la IEEE de las sociedades: Mujeres en Ingeniería, Comunicaciones e Ingeniería en Medicina y Biología (EMBS) y Presidenta del capítulo de la EMBS de Ecuador. Entre 2014 y 2017 se desempeñó como investigadora bajo el Programa PROMETEO de la Senescyt, Ecuador. Actualmente es Profesora de la Universidad Politécnica Salesiana en su Sede de Cuenca. Su investigación se centra en Redes Inalámbricas, Redes de Sensores, Telemedicina y Monitoreo remoto. Ha dirigido y participado en más de 25 proyectos de investigación. Tiene publicado más de 120 artículos en revistas y congresos nacionales e internacionales.

“Aplicaciones de Internet of Things (IoT) en el sector Salud”

Se presentarán los conceptos básicos de IoT, los desarrollos relacionados con las aplicaciones y servicios de IoT en el sector Salud, así como las nuevas tendencias en el desarrollo de redes de sensores y sistemas vestibles (wearable systems).

PhD. Zulay Niño Ruiz – Venezuela



Es Ingeniera Química, Máster en Administración de Empresas, Máster en Ingeniería Química y PhD en Ingeniería Química de la Universidad de Sherbrooke, Quebec, Canadá, en el área de Modelización y Simulación de Procesos Ambientales. Profesora Titular jubilada, Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo (UC), Venezuela. Ex-Directora del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UC.

Fundadora e Investigadora del Centro de Investigaciones Ambientales de la UC (CIAUC). Coordinadora del Doctorado en Ingeniería, área Ambiente, de la UC. Formó parte del programa PROMETEO de la Senescyt como Investigador nivel I desde agosto 2014 a agosto 2015. Actualmente trabaja como Investigadora en el Departamento de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador. Ha participado en 16 proyectos de investigación y ha tutorado 49 proyectos de titulación para estudiantes de ingeniería química, 6 para estudiantes de maestría en Ingeniería de Procesos, 1 para estudiante de la Maestría en Matemáticas y Computación y 3 para obtención del título de doctora en Ingeniería, área de investigación Ambiente. Ha publicado más de 100 trabajos de investigación en revistas científicas de impacto, de producción regional y memorias de congresos.

Conferencia: “Potencial de la biomasa para el cambio de la matriz energética del Ecuador”

Uno de los grandes problemas de la humanidad es su dependencia de los combustibles fósiles, que además de ser limitados provocan un fuerte impacto ambiental. Para el Ecuador la incorporación de energías renovables, entre ellas, aquella proveniente de la biomasa, con la finalidad de reemplazar el uso de combustibles fósiles altamente contaminantes y garantizar su autonomía energética representa un reto importante para cambiar la matriz energética. El término biomasa, en sentido amplio, se refiere a la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía, lo que hace que este sea un recurso valioso y versátil. Ecuador es un productor de biomasa debido a la cantidad de recursos agrícolas, forestales y pecuarios que posee, cuyos desechos son la fuente de materia orgánica para producir energía limpia y renovable. El aprovechamiento de estos recursos va de la mano con la información relacionada a su localización, cantidad y potencial calórico. En esta conferencia se presentarán los principales procesos de transformación de la biomasa, además de mostrar los avances logrados

de este tema en el Centro de Investigaciones del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador y se discutirán las perspectivas de desarrollo en el área.

PhD. Carlos Monsalve Artega
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador



Carlos Monsalve es ingeniero en computación de la ESPOL, con una maestría en comunicaciones digitales de Purdue University, y doctorado en Ingeniería de Software de la Universidad de Quebec. Es profesor principal de la ESPOL, donde ha sido subdecano y decano de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Fue Director Ejecutivo del Consorcio de Internet Avanzado del Ecuador (CEDIA).

Actualmente es Coordinador del Doctorado en Ciencias Computacionales Aplicadas de la ESPOL. Sus áreas de interés son el modelamiento de procesos de negocio, la ingeniería de requerimientos de software y la medición de la talla funcional de software.

“Medición de la Talla Funcional de Software a partir de Procesos de Modelo de Negocio Usando la Norma ISO 19761”

El conocer la talla funcional de un software a desarrollar o mantener permite estimar el esfuerzo requerido para ese desarrollo o mantenimiento con base en modelos estadísticos, y no únicamente por medio de juicio de expertos. La talla funcional de un software se la mide a partir de las especificaciones de los requerimientos funcionales de usuario. Uno de los métodos aprobados por la ISO para la medición de la talla funcional está descrito por la norma ISO 19761, también conocido como COSMIC. Muchos productos de software orientados a procesos de negocio son desarrollados a partir de los modelos de los procesos de negocio que serán soportados por esos productos. Es decir, los modelos de procesos de negocio se convierten así en documentos de especificación de requerimientos funcionales de software. En esta presentación se propondrán unas guías y reglas de transformación que con base en la norma ISO 19761 permitan la medición de la talla funcional de un software orientado a procesos de negocio a partir de sus modelos de procesos de negocio.

**PhD. Germán Arévalo Bermeo,
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador**



El profesor Germán Arévalo es docente titular principal de la Universidad Politécnica Salesiana donde actualmente se desempeña como Director de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Sede Quito, Coordinador de la Maestría en Telemática (sede Quito) y Coordinador del Grupo de Investigación en Electrónica y Telemática (GIETEC). Es ingeniero en Telecomunicaciones, obtuvo su maestría en Comunicaciones Ópticas en el Politécnico de Turín (Italia) y su Doctorado en Ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana de Colombia. Es además Experto en Divulgación del Conocimiento Científico por la Universidad de Vigo y Diplomado en Evaluación de la Educación Superior por la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo investigativo se centra en el estudio de redes ópticas de nueva generación, campo en el cual ha realizado importantes contribuciones y publicaciones en los últimos años y en el cual se encuentra trabajando en colaboración con el Grupo de Comunicaciones Ópticas del Politécnico de Turín. Además, fue por tres años presidente de la Comisión Académica de la Asociación Ecuatoriana de Instituciones de Enseñanza de Ingeniería (ASECEI) y es también miembro del Comité Científico del Programa para la Formación de Ingenieros en Iberoamérica de la ASIBEI-OEA.

“Redes ópticas de nueva generación, perspectivas en Latinoamérica”

La conferencia revisa el incremento exponencial de ancho de banda que ha existido por parte de los usuarios en los últimos años y la consecuente propuesta de nuevas técnicas en la transmisión de información, basadas en fibra óptica, que permitan ofrecer servicios de ultra banda ancha a costos sostenibles y a un gran número de personas. Se aborda el tema en el contexto global con énfasis en la situación latinoamericana.

PhD. Mariela Cerrada Lozada – Venezuela



Ingeniero de Sistemas y Magister en Ingeniería de Control por la Universidad de Los Andes de Mérida-Venezuela, PhD en Sistemas Automáticos por el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas de Toulouse-Francia. Posee más de 23 años de experiencia académica y de investigación, reportadas en más de 100 artículos científicos en congresos, capítulos de libros y revistas de alto impacto en el campo de la supervisión

industrial basada en sistemas inteligentes. Fue profesora del Departamento de Sistemas de Control de la Universidad de Los Andes en Mérida-Venezuela, donde alcanzó el más alto escalafón académico de profesora titular. En los años 2014-2015 y 2016-2017 fue investigadora Prometeo en el Grupo de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Industriales (GIDTEC) de la Universidad Politécnica Salesiana en su Sede de Cuenca, y actualmente es docente de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica de esta misma universidad.

Diagnóstico de fallas en procesos industriales: técnicas y tecnologías para su implementación orientadas a la optimización de los sistemas de producción.

La producción industrial depende fuertemente de la disponibilidad y el correcto funcionamiento de los procesos tecnológicos involucrados, los cuales se dan desde los procesos de planta hasta los procesos a niveles gerenciales. Considerando que, en un sentido general, una falla es aquello que cambia el comportamiento de los sistemas de modo que no pueden satisfacer su propósito original, las fallas en los procesos de planta pudieran tener efectos catastróficos, incluso en los sistemas de ejecución de manufactura y planificación de los recursos de la empresa, si estos no incluyen acciones que le permitan lidiar ante los diferentes escenarios que una falla de planta puede generar a lo largo de toda la pirámide de automatización.

En esta conversación se mostrarán diferentes enfoques de desarrollo de aplicaciones de detección y diagnóstico de fallas, unas usando modelos matemáticos y otras usando modelos computacionales basados en datos, que incluyen los paradigmas de la inteligencia artificial y las máquinas de aprendizaje, así como el uso de la tecnología basada en agentes y arquitecturas orientadas a servicios, para la implementación de estas aplicaciones.

PhD. Noelia Flores Robaina - Universidad de Salamanca, España



Noelia Flores Robaina es profesora del Departamento de Personalidad, Evaluación y Tratamiento Psicológicos de la Facultad de Psicología de la Universidad de Salamanca. Es psicóloga general sanitaria habilitada desde el año 2015 y cuenta con más de 15 años de experiencia profesional en dicho ámbito. Es investigadora del Instituto Universitario de Integración en la Comunidad (INICO) y miembro del Grupo de

Investigación “Investigación en Discapacidad”, reconocido por la Universidad de Salamanca desde 2015. Cuenta con 67 publicaciones en revistas indexadas y 33 publicaciones en libros o capítulos de libro. Ha participado en 32 proyectos de investigación o contratos y en 14 proyectos de innovación docente, además ha realizado 206 presentaciones en congresos. Sus líneas de investigación se relacionan con la discapacidad, salud, riesgos psicosociales, calidad de vida laboral, cuidadores e inclusión

“Nuevas Tecnologías y Discapacidad: un recurso para la inclusión social y mejora de la calidad de vida”

La conferencia versa sobre el impacto y utilidad de las Nuevas Tecnologías en el ámbito de la discapacidad. Se abordarán las principales ventajas de su utilización para la mejora de la participación social, calidad de vida e igualdad de oportunidades. También se aludirá a los obstáculos o barreras que limitan su uso. Se presentarán ejemplos concretos de recursos tecnológicos y aplicaciones innovadoras utilizadas tanto en la vida cotidiana como en contextos educativos o laborales, y que favorecen la autonomía personal de las personas con discapacidades físicas, intelectuales y sensoriales. Finalmente, se ofrecerá una serie de recomendaciones destinadas a los profesionales con objeto de ayudar a las personas con discapacidad y sus familias a seguir avanzando hacia su integración digital y social.

PhD. Carmen Moret Tatay - Universidad Católica de Valencia, España



Licenciada en Psicología y Doctorada Cum Laude en Matemáticas. Es profesora e investigadora de la Universidad Católica de Valencia, San Vicente Mártir, realizando a su vez, labores de coordinación de relaciones internacionales de la Facultad de Psicología y del grupo de investigación MEB Lab (Mind, Emotion and Behavioural Research Laboratory) en la misma Universidad. Además, es miembro del panel

de evaluadores y expertos externos del SEPIE (Servicio Español para la internacionalización de la Educación) dentro del programa Erasmus +. Investigadora de prestigio con numerosas estancias de investigación en EEUU, Brasil, Portugal y Francia.

“Nuevos retos sociales en un mundo cada vez más digitalizado”

Lo que hace unos años eran tecnologías cercanas a la ciencia ficción y económicamente inalcanzables, actualmente están a nuestra disposición, incrementando las posibilidades de relación con el mundo. No resulta sorprendente que la forma en que los seres humanos se involucran y usan estas tecnologías ha despertado considerablemente la atención de los investigadores en la última década, lo que ha llevado a innovaciones tecnológicas, así como a teorías relacionadas con cambios en el comportamiento y en el propio cerebro humano. En este sentido, este hecho ha llegado a compararse con otros hitos históricos como la introducción de la tipografía. Por ello, muchas disciplinas han tratado de abordar la interacción de la tecnología en términos de desarrollo humano, cognición, apoyo social y habilidades emocionales. A pesar de que su adopción se ha vuelto casi esencial para muchas funciones de nuestra rutina diaria, no todos los grupos de edad han adoptado por igual las TIC. Además, aspectos geográficos en la adopción han sido descritos en términos de brecha digital. En particular, las personas de la tercera edad se describen comúnmente como “adoptantes tardíos” en comparación con los usuarios más jóvenes. Estos usuarios mayores también han sido descritos como “inmigrantes digitales”, ya que en un espacio de tiempo relativamente corto, tuvieron que emigrar de un mundo analógico a uno digital. En esta comunicación se abordarán aspectos relacionados con la adopción de las TIC. De este modo, examinaremos cómo la investigación ha encontrado lazos sólidos entre la adopción de nuevas tecnologías, habilidades cognitivas y vida independiente entre las personas mayores. Las variables que subyacen a este proceso de “inmigración digital” son de interés tanto teórica como prácticamente, son los resultados de tal adopción de las TIC.

**SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
PARA LA EDUCACIÓN**

Reading and writing in virtual environments for students with hearing disability

Lectoescritura en entornos virtuales para estudiantes con discapacidad auditiva

A. Toral¹, M. Loaiza²

Abstract: *In this paper, the process of inclusion in reading and writing in hearing impaired students entering the UPS, based in Cuenca, is presented through the accompaniment of virtual learning environments. The research analyzes the process of inclusion in virtual classrooms about the practices of literacy in students with hearing impairment. Its main objective was to diagnose needs for inclusion in an educational program in virtual mode. The written text becomes one of the most effective ways to receive information and access previous knowledge. The methodological approach corresponds to a qualitative and quantitative method with an exploratory and descriptive process, developed in four stages. The main results are as follows: reading and writing in virtual classrooms means access to possibilities, is to be part of and in the entrance to higher studies is inclusion and need a practice that is constant, which allows to provide some student autonomy in the group of students with hearing impairment.*

Keywords: *virtual environments, inclusion, literacy, hearing impairment.*

Resumen: En este trabajo se da a conocer el proceso de inclusión en lectura y escritura en estudiantes con discapacidad auditiva que ingresan a la UPS, sede Cuenca, mediante el acompañamiento de entornos virtuales de aprendizaje. La investigación analiza el proceso de inclusión en aulas virtuales sobre las prácticas de lectoescritura en estudiantes con discapacidad auditiva. Su principal objetivo fue diagnosticar necesidades para su inclusión en un programa educativo en modalidad virtual. El texto escrito se convierte en uno de los medios más eficaces para recibir información y acceder a los conocimientos previos. El enfoque metodológico corresponde a un método cualicuantitativo con un proceso exploratorio y descriptivo, desarrollado en cuatro etapas. Los principales resultados a los que se llega son los siguientes: la lectura y escritura en aulas virtuales significa el acceso de posibilidades, es ser parte de y en el ingreso a los estudios superiores es inclusión y necesitan una práctica que sea constante, lo que permite dotar de cierta autonomía estudiantil en el grupo de estudiantes con discapacidad auditiva.

Palabras clave: entornos virtuales, inclusión, lectoescritura, discapacidad auditiva.

-
- 1 Dra. Adriana de la Nube Toral Sarmiento, PhD. Docente e Investigadora de las carrera de Ciencias Administrativas, Coordinadora del Centro de Lecto- Escritura Académica (CLEA) UPS Cuenca- Ecuador. atoral@ups.edu.ec
 - 2 Ing. María de Lourdes Loaiza Martínez. Mst. Docente e Investigadora de la Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Computación, Cuenca-Ecuador, mloaiza@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación más común de todo ser humano es acceder a un estado de calidad de vida que le permita vivir con dignidad y autorrealizarse, es por eso que todo estudiante con discapacidad debe conocer los servicios y ayudas que la universidad ofrece³. Los procesos incluyentes de las personas sordas en el ámbito universitario reflejan la complejidad de éste, que es producto de una serie de componentes que evidencian, ya sea por las falencias de políticas y estructuras socioculturales, que permitan un pleno desarrollo humano y una calidad de vida para todos los sujetos de la sociedad.

La inclusión debe verse como dice Sarrionandia [1]: “Un proceso de reestructuración escolar relativo a la puesta en marcha de procesos de innovación y mejora que acerquen a los centros al objetivo de promover la presencia, participación y el rendimiento de todos los estudiantes”.

Los entornos virtuales de aprendizaje constituyen hoy uno más de los espacios en los que estudiantes y docentes llevan a cabo sus actividades académicas, de manera que la gran parte de comunicación e interacción se dan por procesos de lectura y escritura.

Dentro de las instituciones de educación superior, se puede decir que los estudiantes toman cierta autonomía estudiantil para luego adquirir una representación social con proyección a la vida. Lo mencionado demuestra que la inserción educativa es la inserción social⁴. Este proceso de inclusión adquiere mayor relevancia en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca entre estudiantes con discapacidad auditiva. En el desarrollo de la actividad, el texto escrito se convierte en uno de los medios más eficaces para recibir información y acceder a los conocimientos previos. Sin embargo, uno de los mayores problemas que plantea la pérdida auditiva es el acceso correcto al lenguaje escrito y a la capacidad de alcanzar una competencia lectora adecuada y funcional.

Por lo anterior está investigación pretende responder la siguiente pregunta: ¿Qué estrategia metodológica apoyada en los entornos virtuales, permite la mejora de los procesos de inclusión a la lectura y escritura en estudiantes con discapacidad auditiva? con el fin de tener un acercamiento a la situación se ha planteado su principal objetivo: diagnosticar necesidades para su inclusión en prácticas de lectoescritura en

3 La legislación actual (Ley de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad de 2003 y real decreto por el que se aprueba el estatuto del estudiante universitario del 2010).

4 La Universidad Politécnica Salesiana (UPS), cumpliendo con su misión y el carisma que la inspira, ha implementado acciones que promueven la inclusión no solo de personas con discapacidad, sino de todos aquellos estudiantes que se encuentran en situación de vulnerabilidad. Esto ha permitido motivar de manera paulatina la instauración de una cultura inclusiva en todos los servicios y programas que ella brinda. La creciente demanda de personas con discapacidad para ingresar a las diferentes carreras que oferta nuestra universidad, ha permitido, en base a la exigencia presentada, implementar acciones institucionales y pedagógicas para atender con calidad y responsabilidad a este sector de la población [13].

modalidad virtual. El umbral de esta investigación fue la aplicación de un diagnóstico para analizar el proceso de comprensión lectora y expresión escrita en el grupo de estudiantes con discapacidad auditiva que ingresarán a la Universidad en el período 51. Se consideran ciertas variables que parecen ser responsables de algunas dificultades en el aprendizaje de la lectura y la escritura de los participantes: la competencia lingüística general, experiencias previas

con lo escrito y falta de motivación hacia la lectura y codificación fonológica.

Así mismo, para el proceso de intervención en el grupo se consideran algunas estrategias didácticas desarrolladas por Jolibert [2] [3], Goodman [4] y Cassany [5]. Se retoman también las reflexiones y descripciones expuestas por Solé [6] y Carlino [7]. Concepciones que facilitaron el acceso de la información y la comunicación en la integración de estas personas en la vida universitaria.

2. MÉTODOS

De acuerdo a la naturaleza del problema planteado para esta investigación, el diseño metodológico corresponde al enfoque cualicuantitativo con carácter exploratorio y descriptivo, como lo define Sampieri [8], “la investigación cualitativa comprende y profundiza los fenómenos, explorándoles desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con el contexto” y como lo define Taylor y Bogdan [9] es “aquella que produce datos descriptivos: las propias palabras de las personas, habladas o escritas, y la conducta observable”. Dentro de estos parámetros se definió el escenario y las personas desde una manera holística comprendida como un todo.

La universidad ofrece apoyos a los estudiantes con discapacidad auditiva, especialmente en su acceso y permanencia en la educación formal, así como la adquisición y consolidación de los conocimientos, las capacidades y los valores que son necesario para aprender permanentemente para incorporarse

con responsabilidad a la vida adulta y al trabajo productivo. La meta es educar para la vida y convidar una institución inclusiva donde todos los participantes reciban la atención con calidad y equidad. Un espacio donde se fomenten nuevas formas de interrelación y respeto que habrán de reflejarse en una sociedad más justa y tolerante.

Bajo esta mirada, el trabajo de gestión inclusiva se realizó en las siguientes etapas: Diagnóstico inicial, Sensibilización, Introducción y Adaptación a entornos educativos virtuales, Inscripción y Seguimiento del Curso de Lectoescritura.

Diagnóstico inicial: en esta etapa se aplicó un instrumento para recuperar un perfil inicial del estudiante a escala familiar y personal, habilidades de aprendizaje previas desarrolladas, su experiencia en modalidades de estudio, el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y las necesidades de adaptación en entornos virtuales.

Sensibilización: asistieron a una plática, en las instalaciones de la Cátedra de Unesco, representantes de la Universidad y los profesores de la carrera de Computación para acercarse al perfil de los estudiantes integrados, para conocer sus trayectorias escolares y dinámicas vivenciales sobre cómo se trabaja con una discapacidad.

Introducción y Adaptación a entornos educativos virtuales: a través de un curso de 12 horas, dos tutores de la Universidad participaron en el reconocimiento de uso de herramientas de comunicación, producción, información y exhibición, a fin de contribuir al apoyo de los estudiantes que asistieran a realizar actividades en línea en la Catedra de Unesco, Casa Universitaria, sede Cuenca.

Seguimiento del Curso de Lectoescritura: una vez inscritos los aspirantes participaron en un curso de selección cuyo propósito es diagnosticar competencias (conocimientos, actitudes, habilidades y valores) para estudiar en línea y apoyar la formación de competencias básicas del estudiante. Se buscó dar seguimiento a las necesidades de atención de los estudiantes con discapacidad auditiva, tratando de encontrar fortalezas y barreras para su aprendizaje en línea. Este seguimiento se realizó a través de la observación de las interacciones en la plataforma virtual de la universidad, denominada AVAC (Ambiente virtual de aprendizaje colaborativo).

Para facilitar que los estudiantes con discapacidad auditiva puedan seguir el ritmo en su recuperación, se consideraron los siguientes aspectos: aulas

agradables y cómodas con una buena iluminación y alejadas del ruido. Facilitar los recursos para el proceso de inclusión como libros de lectura y una computadora para cada participante. Entregar con antelación y por escrito todo lo relacionado a la asignatura: la programación, temas, plazos de presentación y fechas de encuentros, permitir la presencia de un intérprete de lengua de signos en clase, utilizar las ayudas técnicas, como los sistemas de Frecuencia Modulada (FM) o bucle magnético, que use habitualmente el estudiante.

En el desarrollo de las estrategias de enseñanza-aprendizaje se ha impartido la clase frente al grupo para facilitar la lectura labial, se ha evitado los desplazamientos por el aula y hablar mientras se escribe en la pizarra o a espaldas de los estudiantes. Se ha estado pendiente de comprobar que el participante siga la clase, dándole la oportunidad de preguntar cuando no entienda.

En los debates y trabajos en grupo, se explicaba al inicio el propósito del trabajo con cierta motivación para alcanzar los objetivos propuestos en la tarea. En función de las necesidades de los estudiantes se incrementa el tiempo destinado para la actividad; a pesar de la claridad en las preguntas existió cierta resistencia por el desconocimiento de palabras, generando cierta confusión, por lo que fue necesario solicitar el uso del diccionario de sinónimos y antónimos. Todo esto en concordancia con el autor Jolibert, quien recalca que para producir textos en situaciones auténticas, el escritor debe ser capaz de:

identificar de manera precisa los parámetros de la situación de comunicación escrita que van a determinar su producción, tener una representación previa del producto final que se desea producir y delimitar los principales niveles lingüísticos de la textualización [3].

El trabajo con estudiantes reúne los aportes más relevantes acerca de la investigación porque permite identificar las características en el contexto, con un modelo de conversación entre iguales y el encuentro con los docentes lo

que permitió construir utopías comunicativas, como lo define Benito Pares [10]: “la educación inclusiva se lleva en la práctica, en la institución escolar, y es el docente el que día a día, junto al grupo de estudiantes lo construye”.

La posibilidad fue edificar generalizaciones que permitan entender los aspectos comunes en su proceso de inclusión, producción y apropiación de la realidad socio cultural en las prácticas de la lectura y la escritura en estudiantes con discapacidad auditiva.

3. RESULTADOS

En el análisis de las prácticas de lectura y escritura de las personas sordas se señalan problemas tanto en el reconocimiento de palabras como en la comprensión del texto. Estos trabajos indican que las dificultades en los primeros niveles se traducen en el mal uso o uso deficitario de las reglas de transformación grafofonema y procesos metalingüísticos, que pueden ser debidos a problemas en la representación fonológica.

Las dificultades en los procesos dirigidos hacia la comprensión del texto, señalan que ésta se ve afectada por el escaso vocabulario y el poco dominio de las estructuras sintácticas que tienen la mayoría de los estudiantes sordos. Del mismo modo, los estudios muestran los problemas que tienen para establecer relaciones entre la información nueva que aparece en el texto y la que se encuentra almacenada en su mente. Todos estos resultados traen como consecuencia que los niveles alcanzados en

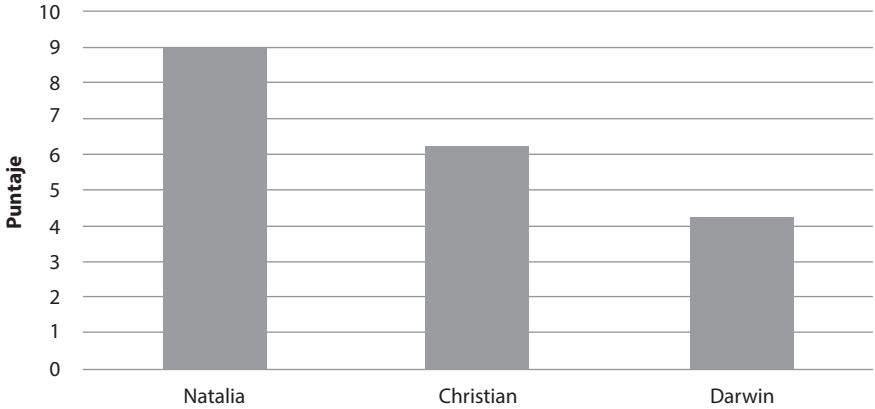
lectura y escritura por la gran mayoría de los integrantes con discapacidad auditiva sean muy bajos.

Durante el proceso de la segunda etapa, se utilizó preguntas en el AVAC. La primera evaluación con un nivel de complejidad bajo y la segunda se elevó el nivel.

Se utilizaron preguntas de diferente tipo que permitieron evaluar la capacidad de comprensión, pruebas de opción múltiple, verdadero o falso, emparejamiento, vocabulario y comprensión lectora. Por último, se utilizaron preguntas de arrastrar y soltar sobre el texto, escogiendo las palabras de un banco de alternativas.

En la Figura 1 se observa que Natalia obtuvo la más alta calificación de nueve sobre catorce (9/14) alcanzando únicamente el 64.29%. Los otros dos estudiantes con calificaciones bajas llegan solamente al 44.64% y al 30.36%, lo que indica una baja comprensión y vocabulario de las lecturas realizadas.

Figura 1: Calificaciones globales sobre 14 puntos

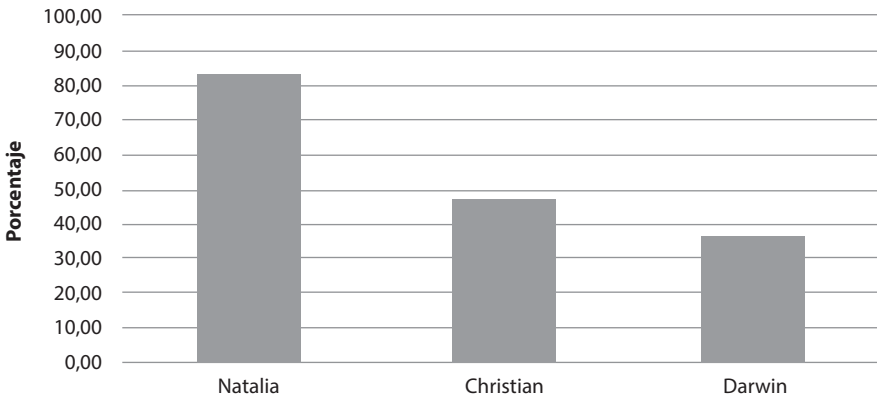


Fuente: Autoras

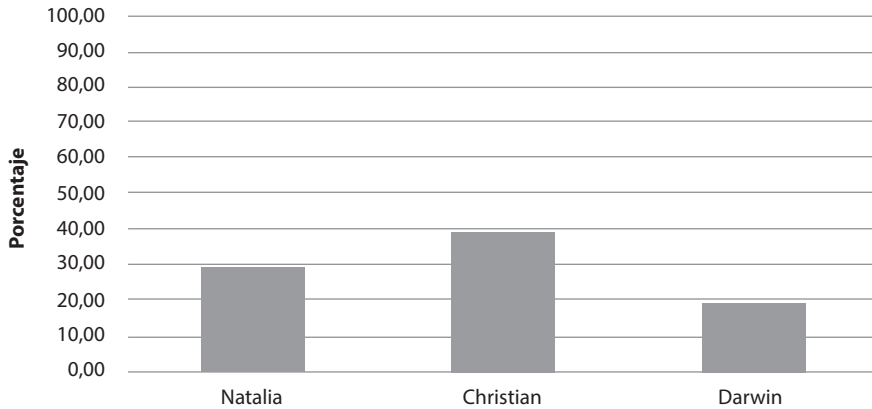
Los resultados parciales de la primera y segunda evaluación se presentan en la Figura 2 y 3, respectivamente. En estas se observa que hay diferencias entre la primera y segunda evaluación, lo que puede significar que la retentiva de Christian es mayor en cuanto al paso del tiempo, y que el nivel de vocabulario y comprensión lectora varía depen-

diendo de la complejidad de la lectura. Los resultados comunes son que en la segunda evaluación sus pruebas son bajas. Hay un porcentaje de variación fuerte en Natalia y Christian. Se evidencia que el nivel de comprensión y la retención de lo leído a través del tiempo son diferentes.

Figura 2: Resultados de la Primera Evaluación



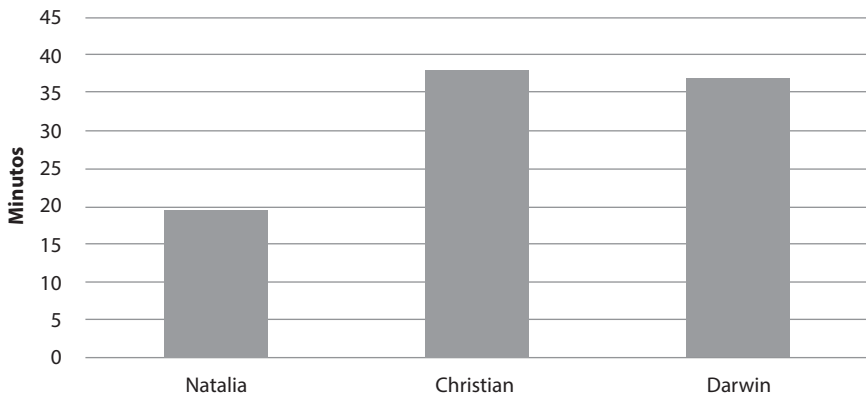
Fuente: Autoras

Figura 3: Resultados de la Segunda Evaluación

Fuente: Autoras

En cuanto al tiempo empleado en rendir las dos evaluaciones se puede observar en la Figura 4 que también varían notablemente entre los jóvenes. Analizando el resultado global obtenido por Natalia y

el tiempo empleado se puede deducir que el grado de comprensión y retención es superior al de los otros dos jóvenes, quienes emplearon el doble de tiempo con un resultado de la mitad a manera global.

Figura 4: Tiempo Requerido

Fuente: Autoras

Los principales resultados a los que se llegan en la investigación, son los siguientes: la lectura y la escritura signi-

fica el acceso de posibilidades, es “ser parte de” y, en el ingreso a los estudios superiores, es inclusión y necesitan una

nueva alfabetización académica que sea constante, que implique un proceso continuo porque cada individuo cons-

truye sus prácticas de acuerdo a sus necesidades y durante toda la vida.

4. DISCUSIÓN

En los debates relacionados al acceso y al ingreso a la universidad, suelen aparecer los más diversos factores causales de los múltiples problemas con los que los estudiantes llegan a la universidad: el más redundante, los de la lectura y la escritura. Como prácticas socio-culturales, no son privativas en ningún nivel educativo, ni se aprenden de una vez y para siempre. Se trata de un proceso que se da a lo largo de toda la formación de un sujeto y los docentes deben acompañarlo.

Por lo general, en el contexto de la universidad hay una mirada colaborativa hacia las estudiantes con discapacidad auditiva. Si bien de acuerdo este grupo tiende a ser más dependiente, debido a sus bajos niveles de autonomía, autorregulación y a su compromiso, el afán es integrarles en un proceso de recuperación en procesos de lectura y escritura y los resultados demuestran que sí es posible lograr aprendizajes si se utilizan estrategias que generen procesos reflexivos que promuevan su autonomía e independencia. De este modo, la universidad construye un patrimonio de aprendizajes mediados por el lenguaje, en tanto se comparten experiencias estéticas y emocionales, generando un conocimiento colectivo frente a la realidad. En este sentido, cabe resaltar el aporte de Goodman, quien sostiene que las prácticas es-

criturales hacen del lenguaje una “fuente importante de poder” [4] y conocimiento para toda la humanidad.

Por su parte, el Centro de Lectoescritura de la UPS afirma que las personas con discapacidad no tienen una condición estática, sino que por el contrario varían en función de los apoyos que se les brinde, lo que permite asegurar de acuerdo al seguimiento realizado, que los docentes deben promover una gran variedad de experiencias significativas y variadas que tengan en cuenta las necesidades individuales de cada participante, lo que permitirá promover en ellos aprendizajes significativos que conlleven a elevar los niveles de independencia [11].

En cuanto al desarrollo de las actividades, se presentaron grandes compromisos, como lo dice del Río [12] en la comprensión del lenguaje que siempre está por debajo de la norma, su desarrollo no es armónico, en el sentido de que los diferentes componentes de la lectura y escritura no evolucionan al mismo ritmo. Por tanto, en el momento de iniciar su aprendizaje, es necesario tener claro que este será un proceso largo y arduo que requiere de experiencias muy significativas que permitan una verdadera apropiación de diferentes actividades del lenguaje.

Todo esto implica que el grupo de estudiantes con discapacidad auditiva,

si bien tienen su interprete, requieren apoyos personalizados y una dedicación particular por parte del docente, lo que en la universidad no será posible debido a la mirada homogeneizante que

lo lleva a impartir el conocimiento de la misma manera para todos los integrantes del aula, sin tener en cuenta las condiciones específicas de cada educando.

5. CONCLUSIONES

Esta investigación partió de incertidumbres, expectativas y preguntas que se plasman en el desarrollo del trabajo. Consideramos que la educación virtual constituye un medio para facilitar la inclusión educativa de comunidades marginadas o que padecen alguna discapacidad. La educación virtual es flexible, deslocalizada, asincrónica, personalizada; en este sentido, estas características facilitan la accesibilidad al estudiante vía TIC.

Al poder reconocer las características de las prácticas de enseñanza-aprendizaje de la lectura y escritura dirigidas a este grupo con discapacidad auditiva en entornos virtuales, se pudo comprender percepciones, metodologías y procedimientos en el contexto universitario, lo que involucró transitar por la lectura de material bibliográfico, por la consulta a docentes y directivos referente al tema. Y la parte más significativa, el poder escuchar y compartir experiencias con los protagonistas de esta investigación.

Al reconocer las necesidades actuales en relación a las prácticas de lectura y escritura de los estudiantes con discapacidad auditiva, en correspondencia con las políticas institucionales y mediante análisis de los resultados, podemos manifestar, que dentro de los factores pro-

ductivos en el trabajo se encuentran: un buen trabajo por parte de la cátedra de UNESCO de la UPS, una predisposición de servicio por parte del Centro de Lectoescritura de la UPS, una imagen positiva y real de parte de los estudiantes y docentes. Lo que estaría por optimizar es aumentar el nivel de motivación y promoción en actividades virtuales relacionadas a la lectura y escritura.

En concordancia con el planteamiento de Carlino [7] “una disciplina es un espacio discursivo y retórico”, por lo que es necesario promover prácticas de lectura y escritura donde el estudiante dé cuenta del tema. La adquisición de la lectura y la escritura son experiencias que marcan la vida, de ahí la importancia de que pueda acceder a ellas de una forma natural y tranquila. Leer y escribir se convierten en interacciones divertidas y placenteras, en las que el joven puede disfrutar de sus logros y aprender de sus equivocaciones.

En efecto, la postura considerada más pertinente en los estudiantes con discapacidad auditiva, es la que aborda la manera cómo se aprende, se enseña y se relacionan los procesos superiores de lectura y escritura entre docentes y estudiantes de la carrera, en el contexto de una estructura interactiva.

Si bien hay ciertas debilidades por parte de los estudiantes, al momento de incluir la lectura y escritura en el aprendizaje, la universidad debería centrarse de manera significativa en sus estructuras y procesos, porque representa el desarrollo y la potenciación de funciones superiores comunicativas, lectoras y analíticas.

Por esta razón, se busca generar estructuras metodológicas educativas que promuevan el pensamiento, estimulen el análisis y la discusión crítica en los estudiantes de la Universidad Salesiana, lo que daría cumplimiento a la expectativa de “formar actores sociales y políticos con una visión crítica de la realidad”, lo que fomenta jóvenes res-

ponsables, con voluntad transformadora y dirigida de manera preferencial a los más necesitados.

Este trabajo considera que las prácticas de lectura y escritura en entornos virtuales deben ser transversal a los contenidos de la carrera. De allí que, la Universidad -como institución educativa y social- debe proporcionar la posibilidad de acompañarles en la adquisición y fortalecimiento de sus capacidades, habilidades, destrezas conceptuales y discursivas (orales y escritas) para de esta manera lograr un proceso de aprendizaje que le permita al estudiante su permanencia y eficiencia en la carrera elegida.

REFERENCIAS

- [1] E. Sarrionandia, “Inclusión y exclusión educativa: voz y quebranto.,” *REICE Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficiencia y Cambio en Educación*, p. 5, 2008.
- [2] J. J., *Formar niños productores de textos*, Chile: Hachette, 1988.
- [3] J. Jolibert, *Formar niños productores de textos*, Santiago de Chile: Dolmen ediciones, 1997.
- [4] K. Goodman, *Lenguaje Integral*, Buenos Aires: Aique, 1998.
- [5] D. Cassany, *Construir la escritura*, Buenos Aires: Paidós, 1999.
- [6] S. Isabel, *Estrategias de lectura*, Barcelona: Graó, 1992.
- [7] C. Paula, *Escribir, leer y aprender en la universidad*, Buenos Aires: Fondo de Cultura económica, 2005.
- [8] S. R.H., *Metodología de la Investigación*. 6° edición, México, 2016, p. 364.
- [9] T. y. Bogdan, *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Segunda edición, Paidós, 1986.
- [10] P. B. R., *Informe de avance de investigación 1999/2000, impacto social de integración de las personas con discapacidad*, Mendoza, 2000.
- [11] Centro de Lectoescritura Académica de la UPS, Resolución 0004-2016, 2016.
- [12] D. Río, *Lenguaje y comunicación en personas con necesidades educativas especiales*, Barcelona: Martínez Roca, 1997.
- [13] M. Gallegos, *Alteridad*, *Revista de Educación* 6, 2011, pp. 118-126.

The use of video recordings as a resource for the evaluation of learning knowledge

El uso de grabaciones por video como recurso de evaluación de conocimientos de aprendizajes

J. Llerena¹, R. Ayala²

Abstract: *This paper presents a methodological proposal of formative evaluation, which adapts to the need to learn to program through the motivation to teach, during the making of a video recording. The computer tools available on the web, the work of realizing a digital composition of self-etching, a step-by-step explanation like sequences of instructions that makes the student of a chosen exercise, to develop the solution of a problem and with the use of an environment of programming, can achieve positive learning consolidation effects. In this process of acquiring the basic knowledge in the use of a programming language, it is based on the significant experience of the student when performing an activity of own recording - explanation. With this, it allows to achieve a mastery of the chosen subject and therefore remains a digital product that allows others to learn. There is evidence of improvement in skills and promotes cross skills with a high degree of satisfaction on the part of students in the development of the video.*

Keywords: *didactics in education, educational innovation, evaluative resources, learn to teach.*

Resumen: Este trabajo presenta una propuesta metodológica de evaluación formativa, que se adapta a la necesidad de aprender a programar mediante la motivación de enseñar, durante la realización de una grabación por video. Las herramientas informáticas disponibles en la web, el trabajo de realizar una composición digital de autograbado, una explicación paso a paso como secuencias de instrucciones que hace al estudiante de un ejercicio escogido, para desarrollar la solución de un problema y con el uso de un entorno de programación, puede lograr en él, efectos positivos de consolidación del aprendizaje. En este proceso de adquirir los conocimientos básicos en el uso de un lenguaje de programación, se basa en la experiencia significativa del estudiante al realizar una actividad de propia grabación – explicación. Con ello, permite alcanzar un dominio del tema escogido y, por ende, queda un producto digital que permite a otros aprender. Se evidencia una mejora en las aptitudes y fomenta destrezas transversales con un grado de satisfacción alto por parte de los estudiantes en el desarrollo del video.

Palabras clave: didáctica en educación, innovación educativa, recursos evaluativos, aprender a enseñar.

-
- 1 Joe Llerena Izquierdo, Docente-Investigador, Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, Carrera de Computación, Ecuador, jllerenaa@ups.edu.ec
 - 2 Ph.D. Raquel Ayala Carabaja, Investigadora, Universidad de Guayaquil, Vicerrectorado de Investigación, Ecuador, raquel.ayalac@ug.edu.ec

1. ANTECEDENTES

Hoy en día, las estrategias educativas tradicionales resultan insuficientes ante la gran variedad de recursos tecnológicos existentes. En efecto, las tecnologías irrumpen continuamente en el accionar de la docencia con mejoras en el desarrollo de propuestas mediante la variedad de programas de computadoras y plataformas de trabajo en línea, existentes en la web[1].

Un ambiente de aprendizaje, con el uso de recursos tecnológicos y su estructura, permite una motivación de alcanzar habilidades metacognitivas que logran una mejor evaluación de la adquisición de conocimientos[2][3].

La Universidad Politécnica Salesiana, con su apuesta al uso de las mejores tecnologías disponibles para el aula, desde la investigación a la docencia, busca que los espacios tecnológicos cooperativos de aprendizaje brinden a los estudiantes una mejor comprensión de los conocimientos por adquirir [4].

La Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Guayaquil, tiene en el primer nivel una asignatura llamada Programación I, que permite a los estudiantes, adquirir una lógica de pensamiento algorítmico, mediante el diseño de resolución de problemas. Con el uso de un entorno de desarrollo, estos algoritmos, que son una posible solución a un problema planteado, son escritos a

un lenguaje de programación adecuado para su evaluación.

Dicha asignatura, llamada actualmente Fundamentos de Programación (en la actualidad existe un rediseño del pensum académico), aplica principios algorítmicos sobre un entorno de desarrollo llamado Netbeans ³ (disponible por el fabricante Oracle para elaborar soluciones mediante programas).

Los estudiantes, muchos de ellos con carencias de conocimientos en programación [5], tienen la aspiración de lograr comprender este tipo de asignatura, que utiliza el computador para resolver problemas de cómputo, y aumentar sus habilidades de desarrollo en el lenguaje de programación propuesto.

Para el grupo de estudiantes participantes en el estudio se ideó el uso de una metodología basada en grabaciones de video (auto-grabación), centrados en una temática específica, como medio de un proceso de evaluación formativa de aprendizaje.

Esta estrategia puede, al mismo tiempo, llegar a ser una experiencia enriquecedora de habilidades de comprensión en el aprendizaje del estudiante mediante un enfoque de aprender - enseñando (para este estudio, de un lenguaje de programación acorde con el pensum de estudio de la asignatura en cuestión), teniendo en cuenta los resultados empíricos que se obtuvieron.

3 Netbeans es un entorno de desarrollo para diferentes lenguajes, entre ellos Java, disponible en: <https://netbeans.org/>

La evaluación formativa tiene el propósito de “guiar y ayudar a aprender; [...] ser comprensiva y adaptada a las necesidades de la persona que aprende y debe estar integrada en el proceso de enseñanza - aprendizaje” [6].

Esta modalidad de evaluación implica la constatación, valoración y la toma de decisiones, con el fin de optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje, humanizándolo [6, pág 150].

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es presentar una propuesta de evaluación formativa de los aprendizajes, con el uso de una grabación de video por parte del estudiante, evidenciando y propiciando

su proceso de aprendizaje de contenidos específicos (conceptuales, procedimentales y actitudinales) mediante la estrategia de “aprender enseñando”[8], [9].

3. METODOLOGÍA

La asignatura de “Programación” es una de las más importantes del primer nivel de la carrera de Ingeniería de Sistemas, de la Universidad Politécnica Salesiana. Durante los periodos de estudio 47 (octubre 2015 a marzo 2016) y 48 (abril a septiembre 2016), en la sede de la ciudad de Guayaquil, se realizaron actividades que tenían como propósito evaluar el aprendizaje de todo el contenido del programa.

La actividad en cada periodo consistía en la elaboración de un video tutorial, grabado por el propio estudiante, con el objetivo de que reforzar lo aprendido durante los cinco meses de jornadas de clase; presentando un trabajo acorde a sus habilidades adquiridas, además de

obtener una valoración que sustituya a la obtenida por cualquier otra actividad de evaluación, prevista en el syllabus.

Cada estudiante debía escoger un tema de entre los nueve capítulos existentes en la asignatura (ver Tabla 1), seleccionando, al mismo tiempo, cualquier ejercicio que el profesor hubiese realizado en clase. Se trataba, en suma, de un ejercicio de programación corto, entendible y eficaz, que los estudiantes pudieran luego replicar. Cabe destacar que, si se deseara implementar esta estrategia, el docente deberá realizar una cantidad abundante de ejercicios cortos que expliquen, tema a tema, cada uno de los contenidos del programa.

Tabla 1. Capítulos de la asignatura de Programación y su grado de dificultad*

CAPÍTULO	GRADO	TEMA
1	1	Conceptos Generales
2	2	Algoritmos
3	2	Introducción a la Programación Orientada a Objetos
4	2	Introducción al Lenguaje
5	2	Entrada y Salida de datos
6	2	Operadores y expresiones
7	3	Sentencias de control
8	4	Métodos
9	5	Arreglos

*El grado de dificultad va en el rango de 1 al 5, siendo 1 el valor de menor dificultad y 5 el de mayor dificultad
Fuente: Autores

Una vez seleccionado el tema, el estudiante trata de comprender el problema y aprender el código seleccionado para su solución (con una guía y con el lenguaje de programación apropiado). A continuación, debe replicar (de forma independiente) el ejercicio explicándolo a modo de “profesor”, incorporando variantes (mejoras que coloca el estudiante). Esto lo realiza preparando un video y presentándolo al público a través de un canal de YouTube (creado también por el mismo estudiante).

En esta actividad se destaca el protagonismo del estudiante al escoger su propio ejercicio problémico (no se repiten entre estudiantes), desafiando su capacidad de realizar problemas que el profesor, en su momento, ejecutó (observar y luego replicar); el estudiante es capaz, inclusive, de resolver los más complicados (aunque son cortos, tienen alto grado de complejidad y requieren de mucho conocimiento en su implementación).

Se aspira lograr que, con la creación de estos videos, el estudiante disminuya su actitud insegura frente a la posibilidad de no lograr ejecutar correctamente la actividad.

3.1 Requerimientos y actividades a desarrollar por el estudiante

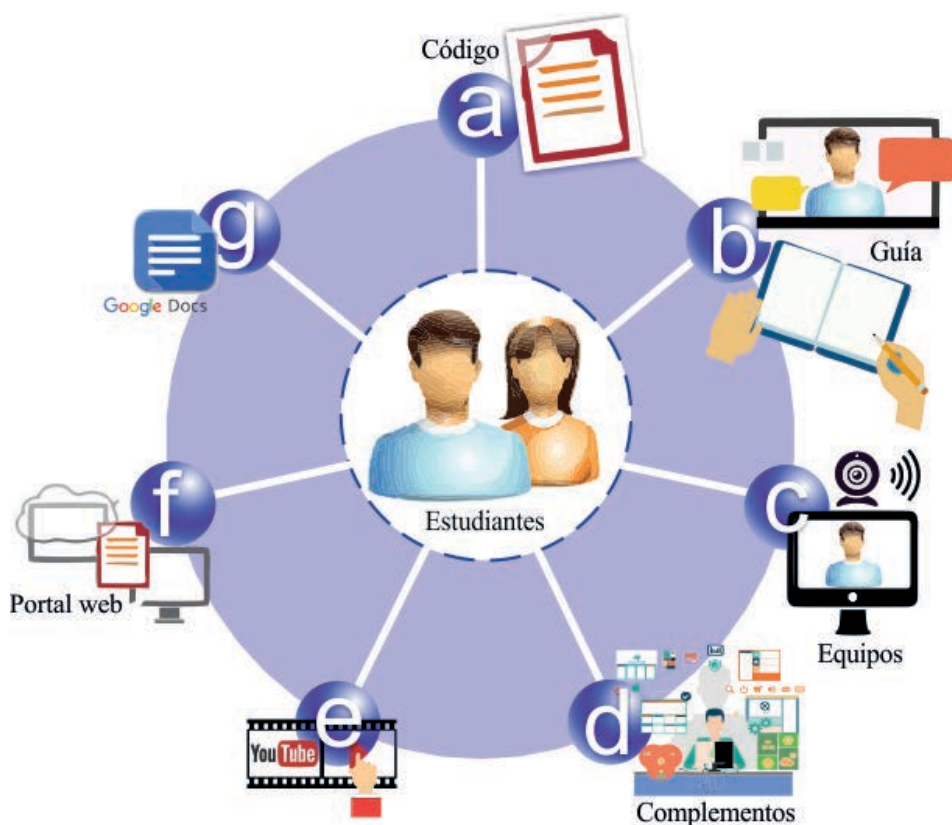
Se presenta a continuación los requerimientos solicitados a los estudiantes, así como las actividades a desarrollar por el estudiante:

- a. Escoger un ejercicio realizado en clase, sin importar el nivel de dificultad (elaborar una guía).
- b. Elaborar la guía del video y escoger un formato adecuado, con su debida explicación (tomar en consideración, para su creación, software de uso, calidad y preparación; no debe superar los 10 minutos).
- c. Utilizar herramientas de grabación (preferiblemente software de uso gratuito y el equipo necesario).

- d. Mejorar el contenido con elementos de efectos e incorporación de texto y sonido (utilizar introducciones al tema, palabras adecuadas en el texto, claridad en la visualización e iluminación).
- e. Subir su trabajo a su canal de YouTube (utilizar una cuenta del servicio gratuito).
- f. Entregar la tarea en el ambiente virtual de la asignatura de la institución educativa (en este caso, AVAC).
- g. Compartir el enlace en el sitio único de Google Docs., dejado por el profesor, para que los demás observen el trabajo que se comparte (ubicado en el ambiente virtual).

En la Figura 1, se muestra el recorrido de actividades que deben los estudiantes realizar para cumplir con la elaboración del trabajo a presentar.

Figura 1. Actividades a desarrollar por el estudiante para la realización de la actividad



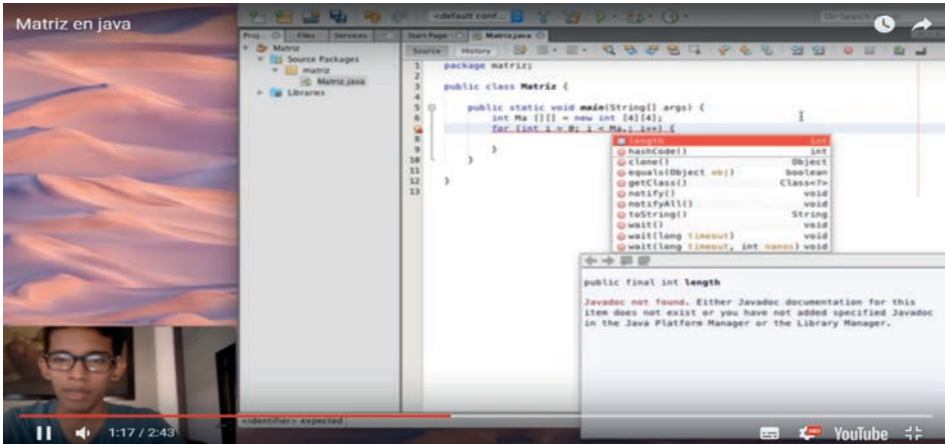
a) Obtener código, b) Elaborar guía, c) Utilizar herramientas de grabación, d) Mejorar el contenido e) Subir el video a YouTube f) Entregar la tarea g) Compartir el enlace

Fuente: Autores

Los videos se encuentran disponibles en la página web del grupo de investigación de Enseñanza – Aprendizaje de la Ciencias para la Ingeniería (GIEACI disponible en: <http://gieaci.blog.ups.edu.ec/>), en su sección de videos formativos, para su visualización.

En la Figura 2 se muestra un trabajo final realizado por uno de los estudiantes de la actividad experimental.

Figura 2. Trabajo final elaborado por un estudiante de la actividad experimental



Fuente: Canal de YouTube de Paúl Moreno, publicado el 6 de septiembre del 2016.

3.2 Dificultades encontradas y posibles soluciones

Existen una serie de situaciones que pueden darse como dificultades para el desarrollo de la actividad. Así, básicamente, los estudiantes presentan inconvenientes al no disponer del equipo necesario, no conocer respecto de los requerimientos solicitados (conocimientos técnicos), no tener habilidades específicas como saber crear un canal en YouTube o utilizar el micrófono del PC.

Por este motivo, es necesario que el docente conozca previamente al grupo, comprendiendo que, al ser un conjunto de personas de conocimientos heterogéneos (en habilidades en el uso de las

TICs), se debe realizar un previo sondeo y conocer las competencias que tienen (o no), en el manejo de equipos de grabación, software y dispositivos para realizar la grabación, soporte en la creación de cuenta en el sitio web, etc.

Del mismo modo, la actividad creada contempla desarrollar un plan de asistencia entre los compañeros que permitan ayudarse en distintos niveles. El estudiante que tiene todo ya estructurado (disponibilidad de espacios y equipos, etc.), puede ayudar a realizar la grabación entre compañeros gracias a las habilidades más desarrolladas. De esta forma se va creando una motivación y una práctica de cooperación en la realización de la actividad.

Es decir, además de aprender a programar, el estudiante podrá resolver otra dificultad que tiene en el camino, esto es, la grabación y edición de su trabajo. Asimismo, debe investigar en otros medios cómo agregar introduc-

ciones, texto, ambiente musical, efectos y demás, propias actividades de gusto y desafío para el estudiante universitario que desea presentar un buen trabajo, incluso para que el que no tiene dichas habilidades, las irá descubriendo.

4. RECOPIACIÓN DE DATOS

Un periodo académico dura cinco meses; esta actividad fue desarrollada en cada uno de los dos periodos consecutivos, el 47 y 48. Del periodo 47, los grupos experimentales fueron dos, el 5141 y el 5142, siendo cursos de 41 (36, aprobaron el semestre) y 38 (34, aprobaron el semestre) estudiantes, con un total de 79 (70, aprobaron el semestre). Del periodo 48, el grupo experimental fue el 5102, un curso de 40 (37, aprobaron el semestre) estudiantes.

Los que aprobaron la asignatura de cada periodo (107) realizaron la prueba experimental. De este valor, el número a encuestar, se lo obtiene de la ecuación 1:

$$n = \frac{Z^2(p*q)}{e^2 + \frac{Z^2(p*q)}{N}} \quad (1)$$

Donde n es el tamaño de la muestra, $Z = 95\%$ correspondiente a 1.96, es el nivel de confianza deseado, $p = 90\%$ es

la proporción de la población deseada, $q=10\%$, es la proporción sin la característica deseada, $e=0.05$, es nivel de error que se puede suscitar, y $N=107$, es el tamaño de la población. Obteniendo el número de tamaño de muestra igual a 84 estudiantes para encuestar.

Realizando un consolidado, participaron un total de 26 estudiantes mujeres, y 58 estudiantes hombres, dando un total global de 84 estudiantes de los 107.

De cada grupo, aceptaron la realización de la grabación del video, ver Tabla 2, entre el 75% al 84% en cada curso. Motivación lograda por el acompañamiento del docente en cada sesión de clases. Cabe resaltar que el trabajo de la creación del video tutorial fue una actividad extra de evaluación, que no afectaba a la nota del global, pero que sí sustituía a otra de puntaje equivalente.

Tabla 2. Total de estudiantes participantes en la prueba experimental realizada

Periodo	Grupo	Total	A*	P**	Por periodo
47	5141	41	36	27	75%
	5142	38	34	26	76%
48	5102	4	37	31	84%
	Totales	119	107	84	78.5%

* Aprobados en la asignatura al finalizar el periodo.

** Participantes en la prueba experimental solicitada.

Fuente: Autores

La recolección de datos se la hizo con la utilización de varias tecnologías web gratuitas, como el uso de documentos de *Google Docs.*, para el alojamiento del enlace web de cada uno de los vídeos de los estudiantes. Este documento online fue elaborado por el docente y puesto a disponibilidad de todos.

Del mismo modo, la plataforma web del ambiente virtual de aprendizaje cooperativo (AVAC) de la universidad permite el acceso del estudiante para alojar el trabajo realizado.

Complementariamente, el uso de un formulario de *Google Forms*, para la realización de una encuesta, permitió conocer la situación del cumplimiento de los objetivos del trabajo y los datos correspondientes a la etapa final de la actividad. El canal de YouTube disponible a todos quienes tengan una cuenta en Gmail.

El software apropiado de grabación, así como de efectos visuales y sonido, entre los múltiples disponibles en la web de uso gratuito. Además de los accesorios que vienen incorporados en el pc.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aunque los resultados no pueden ser comparables de periodo a periodo, debido a que en el periodo 47 los estudiantes pertenecían a la jornada vespertina y los del periodo 48 a la jornada matutina, se da importancia a la realización de la actividad y el impacto formativo que produjo desde la elaboración hasta la realización del video. Se indica que los estudiantes del primer nivel, tienen una edad promedio entre 17 a 19 años. Además de que la cantidad de estudiantes participantes entre los dos periodos normalmente difiere, así como también difiere la cantidad de cursos asignados al profesor. Los resultados de la prueba experimental se obtuvieron mediante el uso de la técnica de la encuesta. Se utilizaron preguntas cerradas y abiertas.

En este trabajo presentamos aquellas que nos permiten mostrar resultados significativos por periodo y aprendizaje. A continuación, se expone el consolidado.

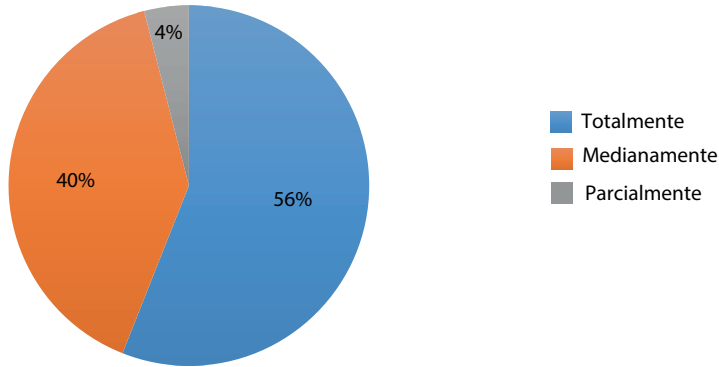
Así, para la pregunta: “¿Cuánto llegaste a comprender lo que estabas programando en el momento de culminar el video?”, se obtuvieron los siguientes resultados por periodo:

Para el periodo 47, de los 53 estudiantes participantes, se refleja en la Figura 3, que el 3.8% (2 estudiantes) parcialmente tuvieron dificultad de asimilar lo que estaban explicando.

El 39.6% (21 estudiantes), medianamente no tuvieron dificultades de comprender lo que explicaban. Y el 56.6% (30 estudiantes), de los que realizaron el video, comprendieron en su totalidad el contenido de lo explicado.

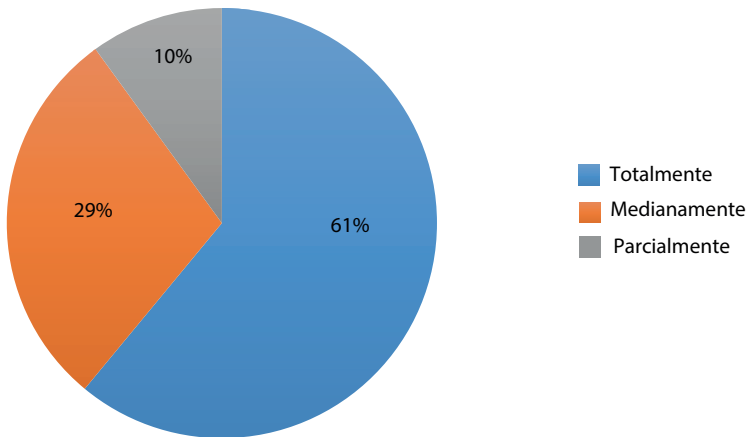
Para el periodo 48, de los 31 estudiantes participantes, se refleja en la Figura 4 que el 9.7% (3 estudiantes) parcialmente tuvieron dificultad de asimilar lo que estaban explicando.

Figura 3. Resultados del periodo 47, de un total de 70 estudiantes por dos cursos asignados, participaron 53 estudiantes en la encuesta



Fuente: Autores

Figura 4. Resultados del periodo 48, de un total de 36 estudiantes, participaron 31 en la encuesta

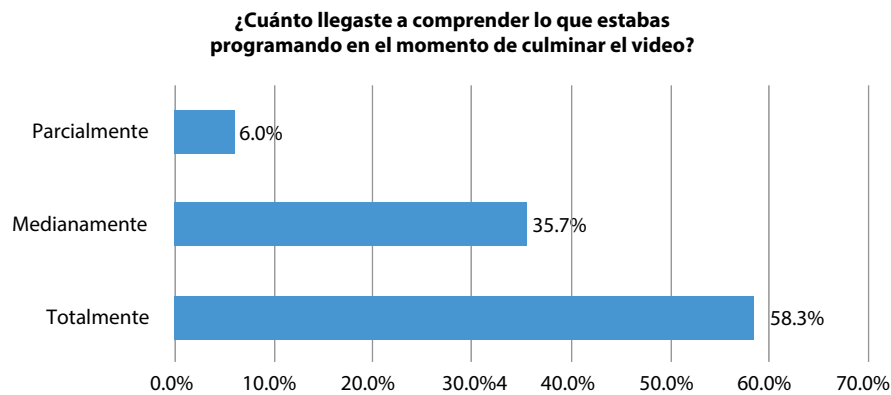


Fuente: Autores

El 29% (9 estudiantes), medianamente no tuvieron dificultades de comprender lo que explicaban; y el 61.3% (19 estudiantes) de los que realizaron el video, comprendieron en su totalidad el contenido de lo explicado.

En el consolidado, ver Figura 5, se nota que el 58.3% de los estudiantes, al culminar el video logran comprender lo que estaban programando, es decir la utilización de esta actividad permite un nivel aceptable de evaluación de los conocimientos alcanzados con este tipo de recurso formativo.

Figura 5. Resultados del consolidado de los periodos 47 y 48, de un total de 107 estudiantes, participaron 84 en la encuesta



Fuente: Autores

En la Tabla 3 se muestra el consolidado de los dos periodos: se obtuvo un resultado muy alentador, ya que los dos temas más complejos de la asignatura son justamente el 8 y 9; el 46% de los estudiantes se encuentran en esos dos conjuntos de temas.

Cabe indicar que los temas del capítulo 1 al 7 se trabajan en los primeros dos meses y medio del ciclo de estudio y, los capítulos 8 y 9 en el segundo. Además, estos dos capítulos se desarrollan en base a lo aprendido en los primeros.

Tabla 3. Total de estudiantes que escogieron un tema relacionado con el capítulo de aprendizaje

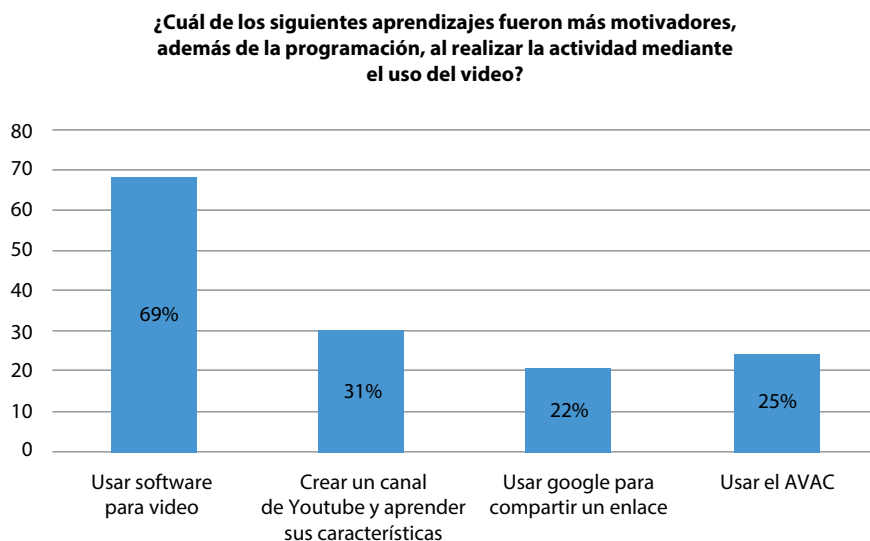
Indique el capítulo de la asignatura para el tema del video escogido		
Capítulo 1 - Conceptos Generales	13	15.5%
Capítulo 2 - Algoritmos	6	7.1%
Capítulo 3 - Introducción a la Programación Orientada a Objetos	3	3.6%
Capítulo 4 - Introducción al Lenguaje	0	0.0%
Capítulo 5 - Entrada y Salida de datos	11	13.1%
Capítulo 6 - Operadores y expresiones	6	7.1%
Capítulo 7 - Sentencias de control	6	7.1%
Capítulo 8 - Métodos	21	25.0%
Capítulo 9 - Arreglos	18	21.4%
Total	84	100.0%

Fuente: Autores

De la pregunta: ¿Cuál de los siguientes aprendizajes fueron más motivadores, además de la programación, al realizar la actividad mediante el uso del video?

(Puedes marcar más de dos) de la Figura 6, se ha tenido como respuesta que, varios estudiantes les ha llamado la atención el uso de software para crear video.

Figura 6. Resultados escogidos por los estudiantes, como más motivadores en el desarrollo de la actividad experimental



Fuente: Autores.

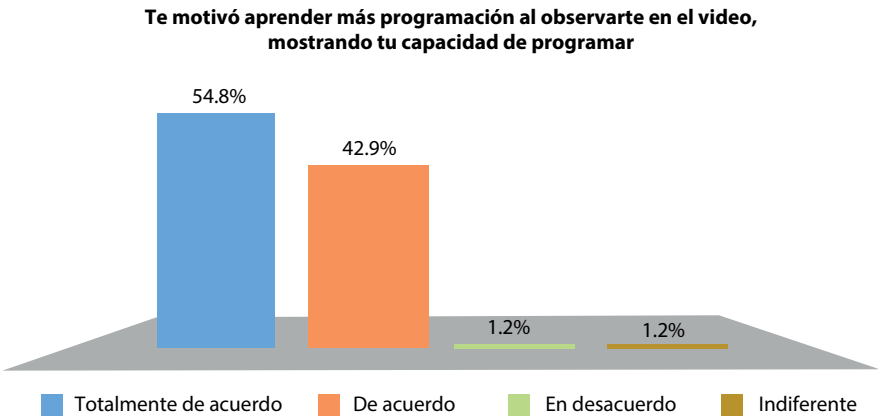
Con esto, complementar herramientas que las tecnologías de la información nos permitan transformarlas en tecnologías de aprendizaje y del conocimiento, es el desafío de todo docente e institución educativa a lograr.

De la pregunta: “¿Te motivó aprender más programación al observarte en el video, mostrando tu capacidad de programar?”, como se muestra en la Figura 7, se obtuvo que el 54.8% de los estudiantes participantes escogieron estar totalmente de acuerdo, seguido del 42.9% de estar de acuerdo. Es decir, para ellos, ver en un video sus propias

explicaciones ha sido de mayor satisfacción, más aún si este conocimiento ayuda a otros a entender lo que ellos han explicado.

De la pregunta: “¿Te gustaría que profesores utilicen este método de elaborar video tutoriales para el aprendizaje de otras asignaturas?”, un total de 39 estudiantes (46.4%) están totalmente de acuerdo en que los docentes utilicen este método de elaboración de videos, ya que es útil para reforzar los conocimientos de un tema específico, tal como se lo ha demostrado en este trabajo.

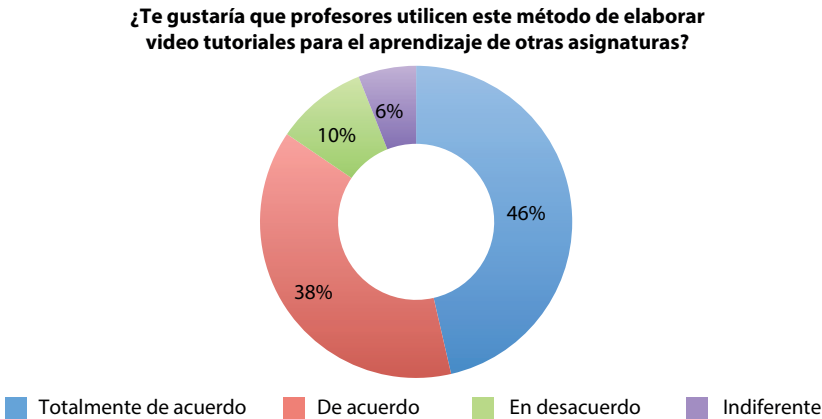
Figura 7. Resultados de la motivación de los estudiantes al observarse en el video, mostrando su capacidad de programar



Fuente: Autores

Del mismo modo, otro grupo grande de estudiantes, 32 (38.1%) de los que realizaron la actividad experimental indicaron que están de acuerdo en que los docentes realicen esta actividad en sus distintas asignaturas. Ver Figura 8.

Figura 8. Porcentaje de estudiantes que prefieren que sus docentes utilicen actividades de grabaciones de video



Fuente: Autores

Se puede apreciar que la actividad de realización del video constituye una experiencia altamente significativa desde el punto de vista del aprendizaje, no solo por el logro de elaborar el video y todos sus requerimientos técnicos, sino porque

el contenido se proyectará al mundo (por medio de la plataforma de YouTube) y esto hace tomar una mayor conciencia al estudiante que su trabajo estará expuesto al público, de sus aciertos y equivocaciones (que puedan darse), al momento de realizar la grabación del tema escogido.

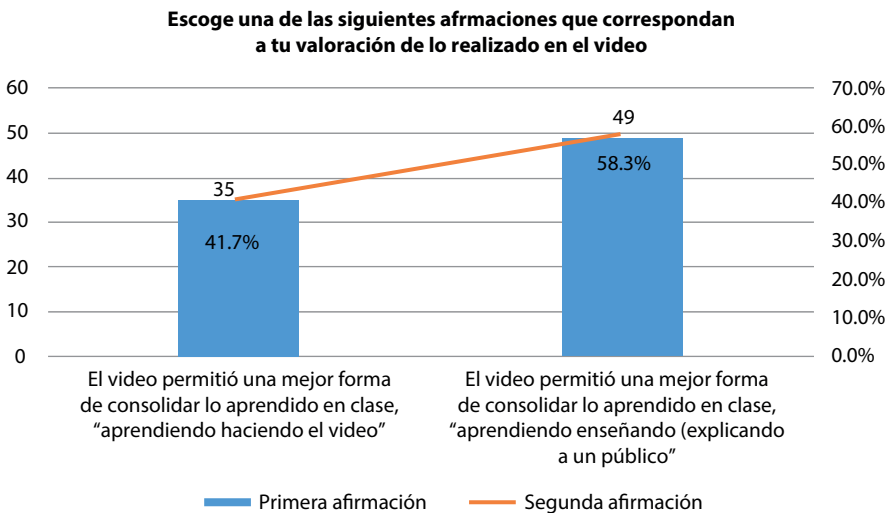
Se les preguntó a los participantes: “Escoge una de las siguientes afirmaciones que correspondan a tu valoración de lo realizado en el video”:

- El video permitió una mejor forma de consolidar lo aprendido en clase, “aprendiendo haciendo el video”

- El video permitió una mejor forma de consolidar lo aprendido en clase, “aprendiendo enseñando (explicando a un público)”

Respondieron a la primera afirmación un 41.7% (35 estudiantes), y el resto, 58.3% (49 estudiantes) indicaron que en lo realizado “es más fuerte el aprendizaje cuando se aprende enseñando”; con esto se entiende que su conocimiento debe estar tan claro para poder explicar a otros lo que realmente se sabe (ver Figura 9).

Figura 9. Porcentaje de afirmación en la valoración, de la realización del video tutorial



Fuente: Autores

La pregunta anterior corrobora con otra información valiosa (ver Tabla 4). Cuando se les pregunta: “Indica qué aprendizaje descubriste (escoja al me-

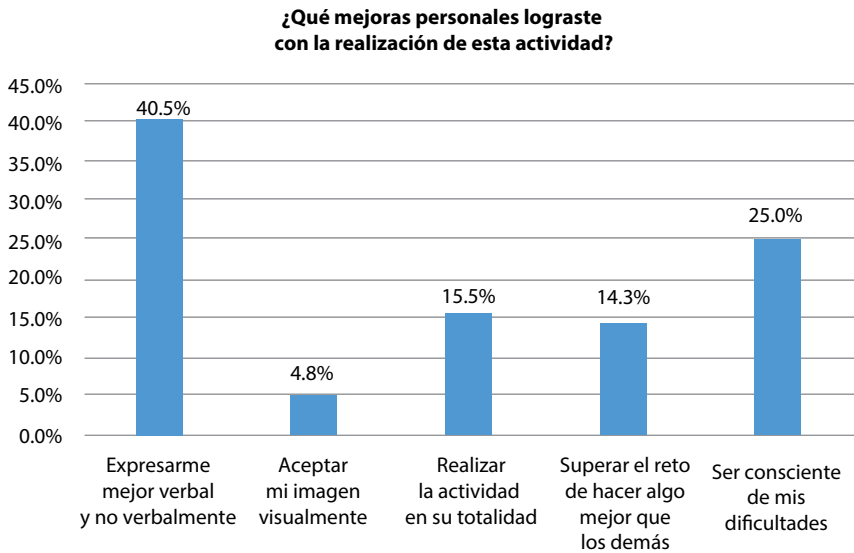
nos dos), durante la realización de la actividad”, se visualiza que se destacan las dos afirmaciones entre ellas, y especialmente aprender enseñando.

Tabla 4. Aprendizajes que los estudiantes descubrieron en el momento de realizar la actividad experimental

Indica qué aprendizaje descubriste (Escoja más de uno, por lo menos dos)		
Saber	7	8.3%
Saber hacer	20	23.8%
Saber ser	4	4.8%
Aprender hacer	22	26.2%
Aprender enseñar	29	34.5%
Aprender ubicuamente	1	1.2%
Aprender invisiblemente	1	1.2%

Fuente: Autores

Figura 10. Resultados escogidos por los estudiantes, como aquellas mejoras alcanzadas en el desarrollo de la actividad experimental



Fuente: Elaboración propia

Así, destaca en esta actividad que un 40.5% de estudiantes han encontrado mejoras en su forma de expresarse verbal y no verbalmente al estar frente a la cámara. Además de estar conscientes de que deben superar sus limitaciones, comprenden

que sí las han logrado superándolas al finalizar la realización del video.

Se puede acotar que los estudiantes en sus respuestas finales de la encuesta han podido superar otros tipos de situaciones que, aunque son ajenas al tema

a tratar en este trabajo (ver Figura 10). En efecto, se debe destacar que los estudiantes descubrieron que desarrollaron otras habilidades además de programar

y con ello, experimentan la importancia de una educación integral, como la ofrecida por los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil.

6. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta los resultados de una actividad eficaz e innovadora de evaluación formativa, que permite que los estudiantes del primer ciclo, refuerzan los conocimientos aprendidos de la asignatura de Programación.

Se ha demostrado que la adopción de esta estrategia mejora las aptitudes y fomenta la actitud de superación personal en destrezas transversales desde lo cognitivo, lo procedimental y lo actitudinal, teniendo como contenido la formación de Programación. Esto se ha evidenciado en los resultados recopilados y en las respuestas de satisfacción, que los estudiantes han manifestado, por lo alcanzado mediante el desarrollo de la elaboración del video.

Al mismo tiempo, se observa un significativo rendimiento alto en los temas más complejos de la asignatura de Programación, esto es, los capítulos finales (específicamente el 8 y el 9), en los que históricamente los estudiantes han mostrado mayores dificultades de comprensión y aplicación.

Así, la propuesta del uso de grabaciones/video como recurso de evaluación formativa de conocimientos y de fomento de una actitud positiva hacia la Programación, ha logrado su objetivo principal de favorecer el aprendizaje significativo y complejo, motivando a los estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a los estudiantes de los primeros niveles de la Carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación, junto a ellos el arte de aprender a programar se vuelve un de-

safío imperioso en la búsqueda de estrategias didácticas (mediante el uso de las tecnologías), para brindarles así una enseñanza de calidad, como lo puede ofrecer la Universidad Politécnica Salesiana.

REFERENCIAS

- [1] OECD, "La Naturaleza del Aprendizaje. Investigación para inspirar la práctica. Guía del practicante." *Recuper.* http://www.unicef.org/lac/20160505_UNICEF_UNESCO_OECD_Naturaleza_Aprendizaje_.pdf, 2012.
- [2] M. Boekaerts, "Motivation to learn." Chicago, p. 28, 2002.

- [3] A. Tisalema Guamanquispe, R. Nogales, P. A. Pérez Gosende, J. A. Carrera Jiménez, J. F. Freire Morán, M. E. Morales Navas, P. Parra, D. Martillo, B. R. Romero Romero, N. Vega Ureta, and others, “Tercer Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad”, 2017.
- [4] R. López, “El uso del vídeo como herramienta para la enseñanza y aprendizaje de la matemática en los primeros niveles de educación superior.” en *Segundo Congreso Salesiano de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad, Memorias Académicas*, II., R. Ayala, J. Llerena, and P. Parra, Eds. Guayaquil: Editorial Universitaria Abya-Yala, pp. 117-129. 2016.
- [5] J. L. L. Fuster and F. J. S. Gómez, “Una Interpretación de las Dificultades en el Aprendizaje del Concepto de Integral.” *Divulg. Matemáticas*, vol. 5, no. 1/2, pp. 61-76, 1997.
- [6] A. Fraile, V. López-Pastor, J. Castejón, and R. Romero, “La evaluación formativa en docencia universitaria y el rendimiento académico del alumnado.” *Aula Abierta*, vol. 41, no. 2, pp. 23–34, 2013.
- [7] C. Hamodi, V. M. L. Pastor, and A. T. L. Pastor, “Medios, técnicas e instrumentos de evaluación formativa y compartida del aprendizaje en educación superior.” *Perfiles Educ.*, vol. 37, no. 147, pp. 146–161, 2015.
- [8] C. D. L. Varela, “Aprender enseñando. una propuesta de organización de la asignatura conocimiento del medio natural.” *Context. Educ. Rev. Educ.*, vol. 11, no. 11, pp. 225–240, 2008.
- [9] D. D. Gisbert, *Aprender: Evidencias e implicaciones educativas de aprender enseñando*, vol. 4, no. 2. Narcea Ediciones, 2014.

Game literacy and its contribution to the development of digital and media skills

La alfabetización lúdica y su contribución al desarrollo de las habilidades digitales y mediáticas

A. Torres⁴, L. Romero⁵, I. Aguaded⁶

Abstract: *This research analyzes the systematic linking games digital literacy and media literacy. It has been examined 43 academic publications related to game literacy submitted between 2004 and 2016 according to criteria sorted by school level, theoretical approach and research design. The results demonstrate the predominance of primary education based on the impact of the game as an educational agent in the acquisition of cognitive skills of the students. Specifically, the results show the impact of the game as an educational agent in primary education being based on the acquisition of cognitive skills of students. Specifically, game instruction in digital literacy is reflected in training on access, information display and operation of systems interaction, whereas media literacy involves skills beyond instrumental as spatial intelligence, narrative and the creative process. Ultimately it is intended to convey the importance of education in games in on educational innovation within the classroom.*

Keywords: *technological literacy, formal education; media education; games.*

Resumen: Esta investigación analiza la vinculación sistemática de los juegos en la alfabetización digital y en la alfabetización mediática. Para ello se examinan 43 publicaciones académicas relacionadas con la alfabetización lúdica presentadas entre 2004 y 2016 de acuerdo a criterios ordenados según el ámbito escolar, planteamiento teórico y diseño de la investigación. Los resultados demuestran la repercusión del juego como agente educativo en la enseñanza primaria fundamentándose en la adquisición de habilidades cognitivas del alumnado. Específicamente, la instrucción lúdica en la alfabetización digital se refleja en la capacitación sobre el acceso, visualización de la información y la operación de los sistemas de interacción, mientras que en la alfabetización mediática implican habilidades más allá de lo instrumental como la inteligencia espacial, la narrativa y el proceso creativo. En última instancia este análisis pretende transmitir la importancia de la enseñanza en juegos dentro innovación educativa en el aula.

Palabras clave: alfabetización tecnológica, educación formal, educación para los medios, juegos.

4 Dr. Angel Torres Toukoumidis, Universidad Politécnica Salesiana, Departamento de Comunicación, Ecuador, atorrest@ups.edu.ec

5 Dr. Luis M. Romero-Rodríguez, Docente de la Universidad Internacional de la Rioja. La Rioja- España, luismiguel.romero@unir.net

6 Dr. Ignacio Aguaded, Universidad de Huelva, Catedrático del Departamento de Educación. Huelva, España, ignacio@aguaded.es

1. INTRODUCCIÓN

En conjunción con el mercado global del sector de los videojuegos en plena expansión, su omnipresencia mediante la adaptación a los dispositivos móviles y la repercusión del contenido expuesto en los jugadores, los juegos son un fenómeno cultural que forma parte de la realidad mediática de la sociedad en la que discurre la necesidad de proceder a su instrucción [1], [2]. De hecho, la enseñanza sobre el juego no es una idea reciente, La referencia [3] ya revelaba que los aspectos sociales promovidos por la acción de jugar se convierten en productivos para la cultura, actuando como un componente civilizador a través de capas de ideas, sistemas de conocimiento, doctrinas, reglas y regulaciones. La unión de estas capas la denomina sociedad, la cual no es más que la formalización de un juego en la que se comparten un orden establecido por un conjunto de reglas que presentan los derechos y obligaciones de aquellos que quieren participar. En complemento, la referencia [4] también manifiesta que el juego es una práctica que consolida el carácter moral e intelectual de la sociedad. Al fin y al cabo, la visión clásica prescribe al juego en la creación de formas culturales con un valor asociado al proceso de enseñanza.

El debate teórico acerca de la alfabetización se centra en la controversia sobre su naturaleza [5]. La diferencia de enfoques es consecuencia de cómo se interpreten las prácticas sociales de

lectura y escritura. Estos procesos de construcción de significados se han ampliado en el panorama mediático y tecnológico, como anticipaba [6] y han confirmado [7], [8].

Por ello, como bien se explica *ut supra*, los desafíos pedagógicos hacen eco a la noción de alfabetización al visualizarla como un proceso de desarrollo de identidad en el territorio digital caracterizada por la apropiación de competencias intelectuales, sociales y éticas necesarias para interactuar con la información y recrearla de modo crítico [9]. Los juegos no quedan exentos de ella. Según la referencia [10] su integración es parte de una reevaluación radical de la alfabetización en la era digital. Por tanto, la referencia [11] designa a los juegos como un componente esencial para comprometer a los estudiantes en los programas de alfabetización.

Comúnmente los juegos se relacionan con el término “nuevas alfabetizaciones” o también conocidas como “alfabetizaciones periféricas” situadas en el contexto contemporáneo de desarrollo tecnológico y en la consecuente ampliación de habilidades necesarias para actuar efectivamente en la sociedad [12]. El análisis de la literatura científica revela una serie de características comunes [13]: es multifacética y multimodal, es decir, contiene una visión interdisciplinaria de la enseñanza que amerita ser abordada por múltiples áreas del conocimiento -análisis contextual, cognitivo, lingüístico, histórico, entre otros-; adap-

tación de competencias y estrategias en el uso efectivo de las tecnologías de la información y comunicación, sin presuponer el uso obligatorio de las mismas; implicación de todos los estudiantes, sin distinción de edad, género ni clase social participando de forma colaborativa en la comunidad global; y por último, aceptación del aprendizaje continuo, supeditándose a la aparición constante de nuevos conjuntos de alfabetizaciones.

De acuerdo con [14] la coyuntura actual en este ámbito permite confirmar que la noción sobre la instrucción sobre los juegos se presenta como un proceso basado en la acción y la asocian a la combinación de los conceptos básicos de la alfabetización: lectura a la acción de jugar y escritura a la producción de contenido. La referencia [15] continúa en esta línea teórica determinando que la lectura se refiere a la identificación y comprensión del significado de los símbolos -semiótica- respecto a los juegos, y la escritura a la habilidad de aplicar el conocimiento en el diseño de juegos. En esta línea se presenta una dicotomía al educar en juegos, en primer lugar, considerarlo un ámbito específico de la alfabetización digital [16], [17] o como herramienta pedagógica para el análisis de los múltiples factores que conforman la alfabetización mediática [18].

1.1 Alfabetización digital

En el contexto de las “nuevas alfabetizaciones”, la alfabetización digital se ha considerado una práctica preferente para alcanzar los objetivos pedagógicos [19], así como el desarrollo de sus habi-

lidades [20]. El término introducido por [21] hace referencia a la capacidad para entender y utilizar información en múltiples formatos a partir de una amplia gama de fuentes cuando se presenta por medio de ordenadores.

1.2 Alfabetización mediática

El concepto de alfabetización mediática surge de la tradición de la alfabetización audiovisual, centrada en los conocimientos y habilidades acerca de los medios [22] y la informacional [23], enfocada al acceso, tratamiento y conversión en conocimiento de la información. La perspectiva, en línea con los trabajos de la UNESCO [24] trasciende la instrumentalización, búsqueda, procesamiento, y difusión por medio de las tecnologías de la alfabetización digital, o la simple decodificación, con el objeto de promover otras capacidades en consonancia con procesos de lectura y escritura mediática, de índole semiótica y pragmática, hacia la interacción social. Se implican así distintas habilidades en relación con “todos los soportes mediáticos, incluyendo televisión y películas, así como radio, música, medios de prensa, Internet y cualquier otro tipo de tecnologías digitales diseñadas para la comunicación” [25] han coincidido en un planteamiento multidimensional que desarrollaría habilidades de aprendizaje tanto para el conocimiento como para la resolución de problemas mediante el uso de los medios y tecnologías de la información y comunicación. Se enfatiza, por tanto, el desarrollo del pensamiento crítico, la comunicación entre los estudiantes, la colaboración y la creatividad.

2. MÉTODO

El argumento principal de este estudio, confronta la información presentada en las diferentes bases de datos bibliográficas respecto a las dimensiones de la alfabetización digital y alfabetización mediática en relación con la alfabetización lúdica. Para dicho análisis se recurre a la revisión de la literatura de los últimos doce años (2004-2016). En el 2004 se inicia el llamado periodo activo en el que se incrementan de forma crucial el número de publicaciones vinculadas con los videojuegos en los diferentes dominios. Por tanto, el periodo de tiempo seleccionado abarca un rango suficientemente amplio. De igual modo destaca que el estudio no se supedita al análisis de las pantallas, plataformas y formatos. Es decir, el compendio técnico vinculante al juego no condiciona la exploración de esta investigación.

Se aplica una aproximación sistemática en la búsqueda e identificación de las publicaciones relevantes para esta investigación distribuida en tres fases. En la primera fase se establecen los criterios de la estrategia de búsqueda en la que concurre la información orientada

a la pertenencia a las alfabetizaciones propuestas, limitando la búsqueda a abstracts y manuscritos de conferencias y artículos publicados en revistas científicas presentados en bases de datos internacionales en línea: Web Of Science (WOS), Scopus, Education Resources Information Center (ERIC) y Wiley Online Library.

La selección de los documentos extraídos de las bases de datos a través de los siguientes criterios:

- Ámbito escolar (segmentación etaria): educación infantil, educación primaria, educación secundaria, educación superior.
- Planteamiento teórico: correspondencia con las dimensiones de la alfabetización digital [26] –técnica, cognitiva y socioemocional– y mediática [27] –cognitivo, estético, emocional y moral.
- Tipología de estrategia metodológica: Exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa y del enfoque metodológico –cuantitativo, cualitativo o mixto–.

3. RESULTADOS

3.1 Estudios vinculados con la alfabetización digital

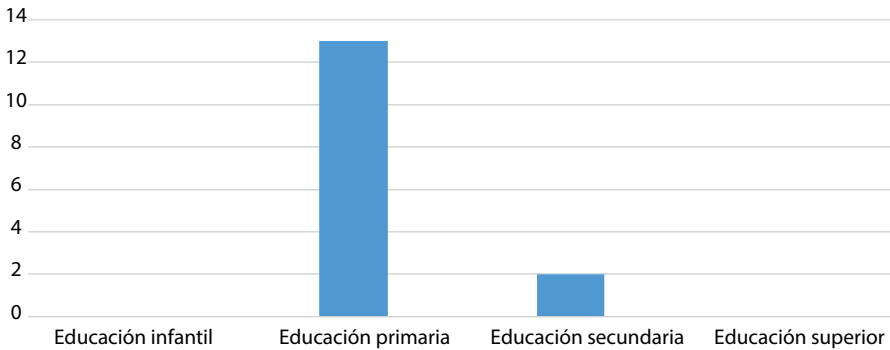
Este compendio lo conforman 15 publicaciones, equivalente al 35% de la muestra efectiva –estudios sujetos a los parámetros de búsqueda suscritos–.

En esta ocasión, sabiendo a priori que la alfabetización digital es “la capacidad para difundir, comprender y utilizar información en formatos múltiples a partir de fuentes de diverso origen generada, tratada y recibida por medio

de computadoras” [28], el uso de dispositivos y sistemas informáticos, primordialmente mediante la utilización de ordenadores en el aula está presente en todos los casos analizados. El ámbito escolar común donde prevalece la instrucción del videojuego está dispuesto en las enseñanzas de la educación primaria referente al 87% de la muestra específica en estudio –13 publicaciones–, seguido de la educación secundaria con

el 7% –2 publicaciones, tomando en cuenta su potencial como herramienta efectiva para impulsar la construcción de la identidad de los estudiantes e incentivar prácticas comunicativas. Por tal razón, el objetivo general de los manuscritos describe el rol del juego como medio de impartición del conocimiento en especial dentro del espectro de las competencias prácticas, motivando el interés hacia alguna temática específica.

Figura 1. Juegos en la alfabetización digital según el ámbito escolar



Fuente: Autores

Elaboración: Propia

Las competencias prácticas hacen referencia a la dimensión técnica de la alfabetización digital. Las mismas están imbuidas en las habilidades para el manejo de las nuevas tecnologías. Específicamente se observa el uso del juego en la instrucción sobre el acceso, visualización de la información y la operacionalización de los sistemas de interacción social. Dicha dimensión está influenciada por las actitudes de los instructores hacia las nuevas tecnologías, a quienes corresponde el reconocimiento y aplicación del juego como vehículo forma-

tivo e informativo, familiarizando a los estudiantes con las fuentes alternativas de conocimiento y adiestrando su incursión a las nuevas herramientas digitales. Continuando con la disección de la dimensión técnica, también se encuentra la incorporación de sistemas de interacción social que estimulan la comunicación y socialización entre múltiples interlocutores, basándose en la utilización de dinámicas de juego como sistemas de recompensa, estatus, logros, autoexpresión, colaboración y competición. Asimismo, la combinación del texto

multiformato del juego implica diferentes modos de comunicación entre ellas: auditivo, visual y espacial, afectando la construcción de identidad –percepción del estudiante respecto a la institución educativa y al instructor–, nivel de autonomía: independencia en la ejecución de actividades; y el desempeño de los estudiantes: cumplimiento de asignaciones.

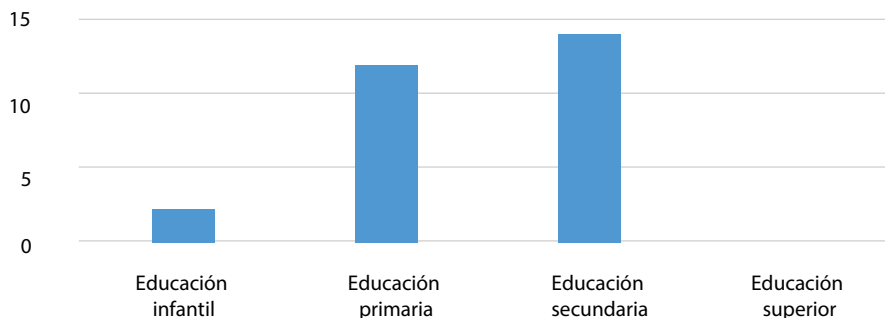
Al igual que ocurre con la dimensión técnica, la dimensión cognitiva se repite en cada una de las publicaciones, englobando la idea de comprensión y asimilación de la lectura y escritura. La interpretación de los elementos diseñados en el juego es asumida por la dimensión semiótica. El proceso educativo más reiterado que circunscribe la semiótica es el scaffolding, anglicismo para el “aprendizaje guiado” dirigiéndose a la intervención activa del experto, propinando el acceso a significados relacionados con el juego durante la experimentación y comprobación de la teoría y asegurando el alcance de metas formativas.

La dimensión socio-emocional está considerada como el nivel más alto y complejo de la alfabetización digital, en el que se requiere que el usuario sea crítico, analítico, tenga dominio sobre los recursos informativos y sobre las habilidades audiovisuales. Los manuscritos omiten la valoración del comportamiento de los estudiantes en comunidades online y no se hallan disposiciones que amparen sus acciones dentro del entorno digital desde la dimensión socio-emocional relegando el estudio de los factores de socialización a la dimensión cognitiva.

Otro criterio condicionante es el diseño de la investigación en el que prevalece el enfoque cualitativo-exploratorio (11 publicaciones) seguido por el enfoque mixto (4 publicaciones). El enfoque cualitativo-exploratorio inspecciona de manera holística la inclusión de la instrucción del juego en el recinto educativo a través de estudios etnográficos, análisis de casos, aplicando mayoritariamente entrevistas y observaciones en clase. El enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) se reparte en 3 investigaciones correlacionales y 1 descriptiva, en los que se valora el impacto del juego digitales en el contexto escolar comparando sus efectos y alcance de resultados con la educación tradicional.

3.2 Estudios vinculados con la alfabetización mediática

En relación a los estudios vinculados con la alfabetización mediática emergieron 28 manuscritos (65% de la totalidad de publicaciones extraídas), en las que 50% de los estudios (14 publicaciones) se circunscriben a la educación secundaria, seguida muy de cerca por la educación primaria con 43% y el 7% restante dedicado a la educación infantil. La inclinación por la alfabetización mediática a través de la instrucción de juegos en alumnos entre 13 y 17 años se asocia al contenido de lenguas extranjeras, informática y matemáticas, demostrando su efecto transformador en la aprehensión del conocimiento reforzando las actividades del programa curricular.

Figura 2. Juegos en la alfabetización mediática según el ámbito escolar

Fuente: Autores

En suma, el 90% de las publicaciones referenciadas presentan al juego como una herramienta pedagógica para el análisis de los medios de comunicación, en la que se proyecta las dimensiones cognitiva, estética y emocional como ejes de las habilidades promovidas en la alfabetización mediática dentro del recinto educativo. En este caso, la tendencia en la dimensión cognitiva se concentra en dos aspectos: inteligencia espacial y narrativa. La primera ordenada a la coordinación motriz y a la memoria visual, en la que se persigue el objetivo general de mejorar la atención y la resolución de problemas del alumno colaborando en la capacitación ante la omnipresencia de la multipantalla. Por su parte, la naturaleza interpretativa de la narrativa, generada por la interacción en contextos lúdicos acentúa su adaptación y empleo en los medios de comunicación a través de la deconstrucción de textos visuales y reconocimiento de los diferentes significados de la información expuesta posibilitando el aprendizaje activo y participativo de los estudiantes. Sin embargo, los manuscritos relativos

a la narrativa excluyen de su escrutinio a la dimensión moral o cualquier factor concerniente al orden ético.

Si bien el proceso cognitivo está presente en la determinación de los mecanismos mentales internos relacionados con la acción de jugar, imaginación, aprendizaje, la influencia de los fenómenos externos predomina en la dimensión estética y emocional de los manuscritos que vinculan el juego con la alfabetización mediática cuando se evocan la cultura y la crítica. En otras palabras, el juego favorece la determinación del acervo cultural, actuando como agente de presión sobre el contenido curricular que constituye la realidad de los estudiantes; por tanto, su abordaje mediante experiencias emotivas facilita la actitud crítica y la emisión de juicios de valor trascendiendo a la información de los medios. Buckingham (2006) ha señalado que los niños perciben estos medios no como tecnologías, sino como formas culturales que requieren de alfabetización.

Adicionalmente, la noción de creatividad no se vislumbra las dimensiones

de la alfabetización mediática, pese a denotarse su convergencia en la producción de juegos en el entorno educativo. Por un lado, la dimensión cognitiva se demuestra en la semiótica del proceso creativo para la aprehensión de conceptos, operaciones y relaciones orientadas a la estructura de los medios, mientras que la dimensión estética y emocional se representa generalmente en la elaboración de contenido condicionado por los recursos culturales, gustos y sensaciones producidas en los estudiantes, afectando de ese modo la exploración, negociación y transformación de la identidad frente a las manifestaciones del conglomerado mediático.

La percepción estética mediante el juego incide indefectiblemente en el análisis del color, la luz, las formas, el espacio bidimensional y tridimensional, tiempo y movimiento; favoreciendo la interpretación de los mensajes expuestos en los medios de comunicación, por su parte la experiencia lúdica además de poseer mayor número de variables estéticas, también acoge elementos estructurales como los sistemas de recompensa, reglas, retos, niveles de dificultad, entre otros, potenciando de ese modo el efecto de inmersión del aprendizaje a través de sensaciones correlativas a las producidas por el contexto mediático.

En cuanto al criterio orientado al diseño de la investigación, predomina

reiteradamente el enfoque cualitativo y la tipología exploratoria con 23 publicaciones (82% de la muestra efectiva), transmitiendo reflexiones en las que asocia el juego con la alfabetización mediática. Fundamentalmente se presentan los juegos como una herramienta educativa efectiva para la adquisición de competencias mediáticas que se adapta paralelamente al contenido de programas educativos, poniendo de relieve como los juegos pueden contribuir al desarrollo de la alfabetización.

Por su parte, los 5 análisis descriptivos (17% de la muestra efectiva) con enfoque mixto, están encaminados a determinar la influencia de la exposición de los juegos en las competencias de alfabetización mediática y a los efectos de incorporar el juego para fomentar el interés por crear, criticar y reproducir contenido de manera recíproca entre los estudiantes en programas específicos de alfabetización mediática en Corea del Sur.

El título del documento debe sintetizar la idea principal y debe evitar las palabras que no sirvan para propósitos útiles, que aumenten su extensión o que confundan al lector. Debe ser breve. Los subtítulos indican las principales subdivisiones del texto y deben orientar al lector en los temas que trata el escrito. No debe haber más de tres jerarquías o niveles de subtítulos. Deben reflejar, de manera precisa, la organización del documento.

4. CONCLUSIONES

El abordaje de la instrucción sobre el juego desde la perspectiva académica

es reciente, el 79% de los manuscritos seleccionados fueron difundidos en los

últimos 6 años (desde el 2010 al 2016). Dicha notoriedad deriva de la interrelación de las actividades lúdicas con la Web 2.0, de la necesidad por cultivar la afición de los jóvenes sobre el pensamiento computacional y el razonamiento heurístico, y de la urgencia por producir resultados transferibles y competencias esenciales para avanzar en aras del aprendizaje.

En la alfabetización digital y mediática predomina la dimensión cognitiva y no tanto la dimensión socio-emocional y de la dimensión moral respectivamente. En efecto, esta investigación constata que la dimensión cognitiva de la alfabetización digital se enfoca en el proceso comprensión de lectura y de escritura a través del diseño e incorporación de actividades lúdicas, mientras que en su par mediático toma en cuenta los textos, elementos gráficos-visuales, elementos auditivos, objetivos, reglas y escenarios del juego facilitando la comprensión y valoración de la información y de la terminología emitida por los medios. Por otro lado, tanto la dimensión socio-emocional de la alfabetización digital como

la dimensión moral de la alfabetización mediática no presentan en ninguno de los 43 manuscritos la intervención del juego en la idea de “buenas prácticas” y utilización responsable de las competencias digitales ni mediáticas.

En definitiva, el efecto transformador del juego en el contexto educativo se comprueba en la noción de alfabetización digital al ser empleado como medio de impartición del conocimiento de competencias prácticas, y en la noción de alfabetización mediática al tratarse como herramienta pedagógica para el análisis. El planteamiento de los manuscritos denota cierta predilección asociada a la alfabetización mediática, pese a que ambas se denotan complementarias en la articulación de las ideas, discurso y experiencias vinculadas al juego hacia objetivos dentro del aula, por ende, la solución está en tratar dicha interrelación a través de la creación de un marco teórico que atienda con profundidad el análisis semiótico, el diseño y en especial, la reflexión crítica del juego teniendo en cuenta la cultura mediática.

REFERENCIAS

- [1] J. Velez, T. Greitemeyer, J. Whitaker, D. Ewoldsen, and B. Bushman, “Violent video games and reciprocity: The attenuating effects of cooperative game play on subsequent aggression” *Communication Research*, vol. 43, no. 4, 2016, pp. 447-467.
- [2] L. Romero-Rodríguez, Á. Torres-Toukourmidis, and I. Aguaded, “Ludificación y educación para la ciudadanía. Revisión de las experiencias significativas” *Educar*, vol. 53, no. 1, 2017, pp. 109-128.
- [3] J. Huizinga, *Homo ludens; a study of the play-element in culture*, Boston: Beacon Press, 1955.
- [4] C. Roger, *Man, play, and games*, Illinois: University of Illinois Press, 1961.
- [5] C. William, and W. Potter, “Media literacy, media education, and the academy”, *Journal of communication*, vol. 48, no. 1, 1998, 5-15.
- [6] M. Spencer. “Emergent literacies: A site for analysis”, *Language Arts*, vol. 63, no. 5, 1986, pp. 442-453.

- [7] D. Buckingham, "Defining digital literacy. Digital Kompetanse", *Nordic Journal of Digital Literacy*, vol. 1, n. 4, 2006, pp. 263-276.
- [8] T. Koltay, "The media and the literacies: Media literacy, information literacy, digital literacy", *Media, Culture & Society*, vol. 33, no. 2, 2011, 211-221.
- [9] M. Area, "De lo sólido a lo líquido: las nuevas alfabetizaciones ante los cambios culturales de la Web 2.0", *Comunicar*, vol. 19, no. 38, 2012, pp. 13-20.
- [10] J. Alberti, "The game of reading and writing: How video games reframe our understanding of literacy", *Computers and Composition*, vol. 25, no. 3, 2008, pp. 258-269.
- [11] D. Townsend, "Building Academic Vocabulary in After-School Settings: Games for Growth With Middle School English-Language Learners", *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, vol. 53, no. 3, 2009, pp. 242-251.
- [12] M. Knobel, and C. Lankshear, "Studying new literacies.", *Journal of adolescent & adult literacy*, vol. 58, no. 2, 2014, pp. 97-101.
- [13] D. Leu, J. Coiro, J. Castek, D. Hartman, L. Henry, and D. Reinking, "Research on instruction and assessment in the new literacies of online reading comprehension", en *Comprehension instruction: Research-based best practices*, Urbana, IL: National Council of Teachers of English, 2008, pp. 321-346.
- [14] A. Torres-Toukoumidis, L. Romero-Rodríguez, M. Pérez-Rodríguez, and S. Björk, "Desarrollo de habilidades de lectura a través de los videojuegos: Estado del arte", *Ocnos: Revista de estudios sobre lectura*, vol. 15, no. 2, 2016, pp. 37-49.
- [15] H. Hsu, and S. Wang, "Using gaming literacies to cultivate new literacies", *Simulation & Gaming*, vol. 41, no. 3, 2010, pp. 400-417.
- [16] J. Gee, "What video games have to teach us about learning and literacy", *Computers in Entertainment (CIE)*, vol. 1, no. 1, 2003, pp. 20-42.
- [17] S. Gerber, and L. Scott, "Gamers and gaming context: Relationships to critical thinking", *British Journal of Educational Technology*, vol. 42, no. 5, 2011, pp. 842-849.
- [18] S. Culver, and T. Jacobson, "Alfabetización mediática como método para fomentar la participación cívica", *Comunicar*, vol. 20, no. 39, 2012, pp. 73-80.
- [19] K. Mills, "A review of the "digital turn" in the new literacy studies", *Review of Educational Research*, vol. 80, no. 2, 2010, pp. 246-271.
- [20] L. Romero-Rodríguez, P. de-Casas-Moreno, and Á. Torres-Toukoumidis, "Dimensions and Indicators of the Information Quality in Digital Media", *Comunicar*, vol. 24, no. 49, 2016, pp. 91-100.
- [21] P. Gilster, *Digital literacy*, New York: Wiley Computer Pub., 1997.
- [22] L. Masterman, *Teaching the media*, Abingdon: Routledge, 2003.
- [23] D. Bawden, "Origins and concepts of digital literacy", *Digital literacies: Concepts, policies and practices*, vol. 30, 2008, pp. 17-32.
- [24] D. Suárez, David, F. Ramirez, and J. Woo Koo. "UNESCO and the associated schools project: Symbolic affirmation of world community, international understanding, and human rights", *Sociology of Education*, vol. 82, no. 3, 2009, pp.197-216.
- [25] J. Potter, *Media literacy*, California. Sage Publications, 2013.
- [26] J. Janssen, S. Stoyanov, A. Ferrari, Y. Punie, K. Pannekeet, and P. Sloep. "Experts' views on digital competence: Commonalities and differences", *Computers & Education*, vol. 68, 2013, pp. 473-481.
- [27] J. Potter, *Media literacy*, California. Sage Publications, 2013.
- [28] D. Levis, "Alfabetos y saberes: la alfabetización digital", *Comunicar*, vol. 13, no. 26, pp. 78-82.

Design and implementation of a didactic speed controller system for a brushless DC motor

Diseño e implementación de un sistema didáctico de control de velocidad para un motor BLDC

N.Vega¹, P. Fuentes², J. Peñafiel³, B. Romero⁴, M. Romero⁵

Abstract: *This paper will demonstrate the process for designing a PID controller for a DC brushless motor (BLDC) using Matlab®, Simulink® and Arduino. It will detail the process of obtaining the transfer function of the plant as well as the design process of the controller. The system response in open loop (without controller) and in closed loop (with PID controller) will be shown to highlight the differences. A brief description of the components used for the construction of the plant will also be made.*

Keywords: *BLCD motor, closedllLoop, open loop, PID controller, plant.*

Resumen: En este artículo se demostrará el proceso para diseñar un controlador PID para un motor sin escobillas DC (BLDC) utilizando Matlab®, Simulink® y Arduino. Se detallará el proceso de obtención de la función de transferencia de la planta así como el proceso del diseño del controlador. Se podrá contrastar la respuesta del sistema en lazo abierto (sin controlador) y en lazo cerrado (con controlador PID). También se hará una descripción breve de los componentes usados para la construcción de la planta. En las pruebas realizadas del sistema se verifica la efectividad del control y el sistema desarrollado

Palabras clave: controlador PID, lazo abierto, lazo cerrado motor BLDC, planta.

-
- 1 Nino Tello Vega Ureta, Magister en Automatización y Control Industrial, Investigador Universidad Politécnica Salesiana Grupo GIPI, nvega@ups.edu.ec.
 - 2 Pablo Gustavo Fuentes Espinoza, Estudiante Investigador Universidad Católica de Santiago de Guayaquil pablo.fuentes01@cu.ucsg.edu.ec
 - 3 Joseph Adrián Peñafiel Caicedo, Estudiante Investigador Universidad Católica de Santiago de Guayaquil joseph.penafiel@cu.ucsg.edu.ec
 - 4 Byron Ramiro Romero Romero, Magister en Automatización y Control Industrial, Investigador Universidad Estatal de Milagro, bromeror@unemi.edu.ec.
 - 5 Manuel de Jesús Romero Paz, Magister en Telecomunicaciones, Investigador Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Los motores BLDC (motores sin escobillas de corriente directa) actualmente son los elementos más populares en el sector automotriz, particularmente en los vehículos eléctricos, electrodomésticos y procesos industriales ya que ofrecen ventajas en eficiencia frente a motores con escobillas, como: menor necesidad de mantenimiento, mayor velocidad, operación sin ruido, etc. Sin embargo, cuentan con la desventaja de que necesitan de una parte electrónica para su funcionamiento, a diferencia de los motores de escobillas que sólo requieren un suministro de energía [1].

La necesidad del control de velocidad de los motores -y más aún de los motores sin escobillas- en los procesos industriales, hace evidente la importancia de conocer cómo diseñar correcta-

mente el controlador que permita regular la velocidad del mismo. Más aún surge el interés por comprender no sólo como elaborar el controlador de un sistema para el control de velocidad de un motor, sino para cualquier sistema que requiera de una acción de control. Es en este momento donde la idea de contar con programas y prototipos didácticos toma fuerza.

Así, en este trabajo se han enfocado los esfuerzos en desarrollar una planta didáctica que pueda ser modificada para varios sistemas y no sólo para el sistema de control de velocidad, y adicionalmente se han desarrollado módulos en Simulink para facilitar cada paso necesario para el diseño e implementación del controlador, desde la adquisición de datos hasta la implementación del sistema.

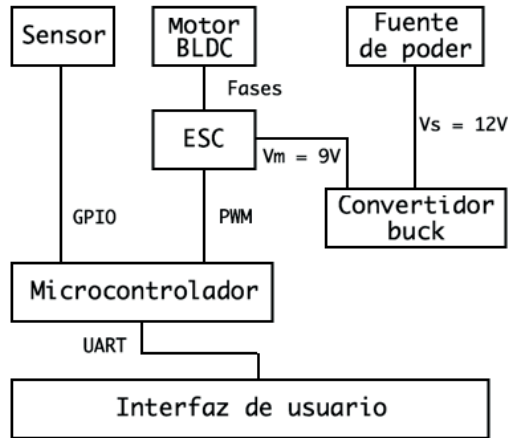
2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la construcción de la planta didáctica se tomó en cuenta el diagrama que se muestra en la Figura 1, donde se puede observar que el microcontrolador será el encargado de recibir los datos del sensor y de controlar la velocidad del motor. Sin embargo, será a través de la interfaz de usuario desde donde se ejecutará el controlador PID. El microcontrolador se dedicará exclusivamente a enviar los datos del sensor a la interfaz y de recibir de esta el valor digital a aplicar al motor.

La interfaz de usuario es un modelo en Simulink, de tal forma que sea muy flexible en la enseñanza, ya que permite cambiar las ganancias del controlador PID y observar los distintos comportamientos del sistema en tiempo real.

La fuente de alimentación a utilizar es de 12V 1A, sin embargo, el motor será alimentado por 9V, el convertidor Buck será el encargado de reducir los 12V de la fuente a los 9V para el motor, pues la regulación de este convertidor es más eficiente que los reguladores lineales normalmente utilizados.

Figura 1. Diagrama de bloques del prototipo a implementar



Fuente: Autores

2.1 Hardware

Para aumentar la flexibilidad de la planta, permitiendo la posibilidad de hacer futuros cambios, se decidió trabajar con la plataforma Arduino, debido a su gran popularidad y aceptación; se utilizó específicamente la tarjeta Arduino UNO.

2.2 Sensor

Para este trabajo se utilizó un encoder óptico que trabaja con el opto interruptor MOCH22A, el cual cuenta con un LED infrarrojo y un fototransistor; en [2] se dan estas especificaciones.

Un fototransistor permanece inactivo (no hay paso de corriente entre el colector y el emisor) hasta que reciba un rayo de luz. La luz activa al fototransistor, permitiendo la formación de parejas de huecos-electrones y así el paso de la corriente desde el colector al emisor; en [3] se dan las características de este dispositivo. En un opto

interruptor, el LED infrarrojo emite un rayo de luz constantemente al fototransistor, por lo que el fototransistor estará activo, sin embargo, si hay un obstáculo que bloquee este rayo de luz, el fototransistor estará inactivo.

Esta característica permite que se pueda medir la velocidad, contando la cantidad de veces que se bloquea la luz en un tiempo determinado, conociendo de antemano la cantidad de obstáculos ubicados sobre el disco conectado al eje del motor.

2.3. Controlador de velocidad electrónico (ESC)

El controlador de velocidad electrónico (ESC) utilizado, puede controlar motores de hasta 30 A, su voltaje de entrada está en el rango de 5.5 V a 12.6 V. Además, cuenta con un circuito Battery Eliminator (BEC) para entregar potencia eléctrica a otro circuito sin la

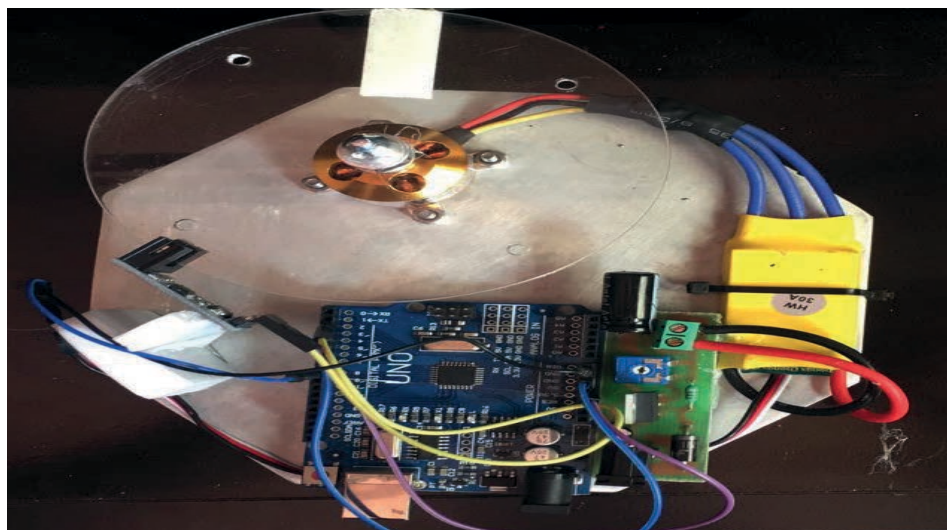
necesidad de múltiples baterías. El BEC utilizado es de 5V/1A. Puede manejar velocidades de hasta 210000 rpm para motores BLDC de 2 polos, 70000 rpm para motores de 6 polos, y 35000 rpm para motores de 12 polos, estas especificaciones se pueden ampliar en [4].

2.4. Motor BLDC

El motor utilizado para el presente proyecto es de la serie A2212, cuya

máxima corriente es de 4 a 10 A. Sin embargo, cuando no tiene carga, consume hasta 500 mA. Su máxima velocidad es de 210000 rpm. Está diseñado para su uso en drones. En la figura 2 se presenta el sistema que se ha construido en donde aparecen en conjunto todos los elementos utilizados.

Figura 2. Diseño de la Planta



Fuente: Autores

2.5. Parámetros de la Planta

Antes de proceder a la identificación del sistema que permita obtener el modelo matemático y con este realizar la calibración del controlador a implementar, es necesario identificar ciertos parámetros de la planta real, como los que se detallan a continuación.

2.5.1. Resolución del sensor de retroalimentación del sistema

Sin duda, la resolución del elemento de retroalimentación del sistema es uno de los parámetros más importantes, limitará la cantidad de puntos de operación de la planta. En este proyecto se consideró un arreglo de fototransistor y led para detectar las revoluciones de un

motor. Sin embargo, el sensor, de acuerdo a las diferentes pruebas realizadas, no puede leer velocidades superiores a los 2700 rpm, lo que da el rango de operación del sistema, el cual puede ser entre 0 y 2700 rpm.

2.5.2. Límites en el actuador

Para poder diseñar con éxito un controlador, es de suma importancia conocer los límites del actuador de la planta con respecto a la variable que se quiere controlar. En este trabajo, el actuador es un motor, por lo que en este apartado es necesario conocer cuáles son las velocidades mínima y máxima. El motor utilizado es el A2212 cuyas velocidades mínima y máxima son se especifican en [4], las cuales van desde 0 a 210000 rpm.

2.5.3. Resolución de Interfaz de Potencia

Para este proyecto se utilizó un controlador de velocidad electrónico (ESC) el mismo que facilita el control de la velocidad de un motor sin escobillas, por el método PWM, para el ESC utilizado tiene un período de 20 ms como se especifica en [5], el inconveniente de este controlador, es que sólo es estable a velocidades grandes. Este dispositivo está especialmente diseñado para el control de motores utilizados en la aviación. Debido a que la máxima velocidad que puede detectar el sensor es de 2700 rpm, el controlador ESC no tendrá buena estabilidad, lo que exige aún más la necesidad de implementar este controlador de velocidad.

La señal PWM que recepta el ESC para controlar la velocidad del motor sin escobillas puede tener un ciclo de trabajo de 0.05 a 0.1. Así, cuando la señal enviada al ESC tenga un ciclo de trabajo de 0.05, el motor girará a su mínima velocidad (0 rpm), y cuando la señal enviada tenga un ciclo de trabajo de 0.1, el motor girará a su máxima velocidad (210000 rpm).

La variable a modificar para controlar la velocidad, debería estar entre estos dos valores de ciclo de trabajo, pero el sensor utilizado para la retroalimentación no puede medir más de 2700 rpm; la variable modificada no debe exceder el valor de ciclo de trabajo necesario para conseguir 2700 rpm en el motor.

De acuerdo a datos obtenidos en pruebas experimentales, el ciclo de trabajo necesario para conseguir 2700 rpm en el motor es de 0.0545, por lo que la variable modificada estará entre este valor y cero. Por su parte, una señal con un ciclo de trabajo de 0.05 en un período de 50 Hz, significa que el tiempo en que la señal se encuentra en estado activo es de 1000 ms; y una señal con un ciclo de trabajo de 0.0545 en un período de 50 Hz, significa que el tiempo en que la señal se encuentra en estado activo es de 1090 ms.

2.6 Modelo matemático del sistema

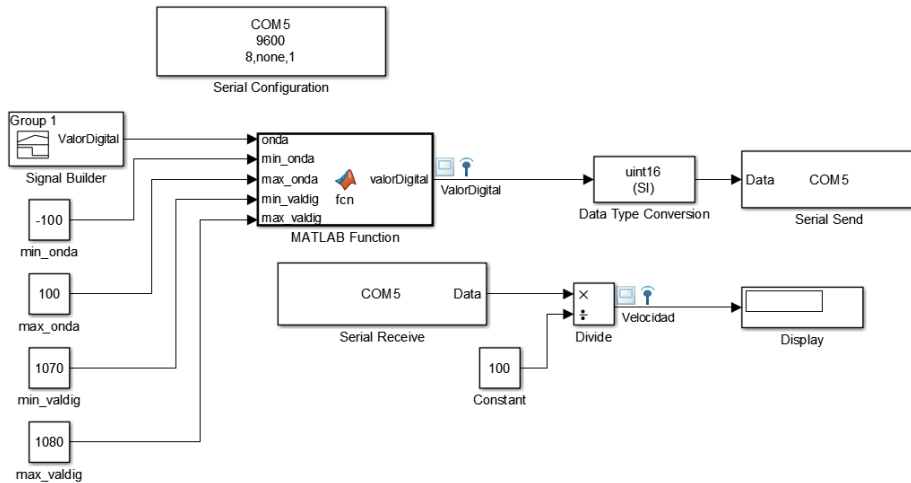
Para la obtención del modelo matemático del sistema se utilizó el método por identificación del sistema, con la ayuda de MATLAB® & Simulink; el desarrollo de esta propuesta toma como base los desarrollos de [6] [7] [8], donde se especifican la metodología y el desarro-

llo que elaboraron estos autores. Para ello se desarrolló un programa en el Arduino que permitiera la comunicación serial del Arduino con MATLAB® & Simulink® de manera flexible. Una vez cargado este programa en el Arduino, se prosiguió a desarrollar un modelo en Simulink®, que permitiera la adquisición de datos del sistema de manera eficiente y sencilla.

En la Figura 3 se muestra la aplicación desarrollada para la identificación

del modelo. Se puede observar que el modelo cuenta con un generador de señales que permitirá cambiar la forma de excitación del sistema para realizar la toma de datos. Al lado de este generador de señales se tiene un bloque personalizado de Simulink® que cumple la función de cambiar los límites de la onda del generador de señales, en los valores digitales que admite el controlador del sistema.

Figura 3. Modelo desarrollado en Simulink® para la adquisición de dato



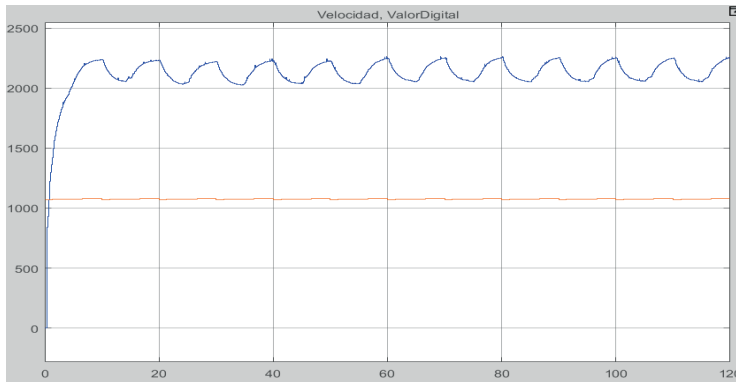
Fuente: Autores

Una vez configurado el modelo, se procede a la ejecución del mismo durante el tiempo que se haya programado en la ventana de Simulink®, de este tiempo también dependerá la cantidad de datos que toman como muestra. Conforme se ejecuta el programa para la toma de datos de la identificación, los resultados se muestran como los de la Figura 4.

Cuando la ejecución del modelo de Simulink haya terminado, en el Workspace de MATLAB® se creará una

variable, la cual contendrá los datos de velocidad y valores digitales obtenidos.

Ahora es necesario convertir estos datos en un objeto (datos en el dominio del tiempo) que puedan ser exportados fácilmente a la ventana de *System Identification* de MATLAB®. Este objeto se crea con el comando *iddata*; sin embargo, para facilitar el uso de estas herramientas, se desarrolló un script que hace todo esto de forma automática.

Figura 4. Datos obtenidos del modelo de Simulink en tiempo real

Fuente: Autores

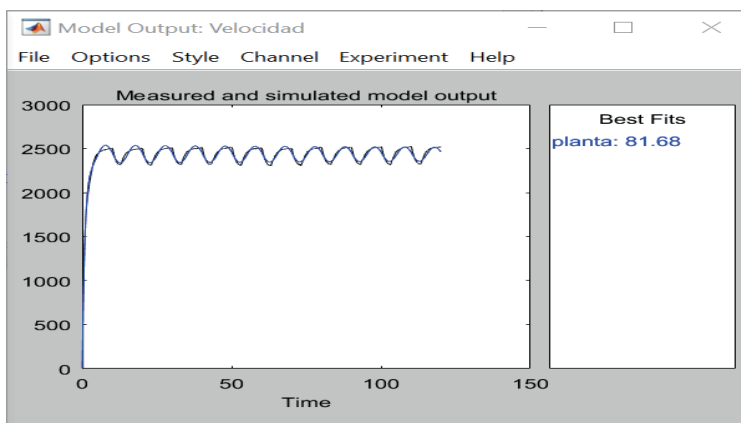
Este objeto creado se importará en la ventana de *System Identification* de MATLAB, la cual aparece al ejecutar el comando *ident*.

Posteriormente, se procederá a trabajar en la ventana de *System Identification* de MATLAB, para lo cual se deberá ejecutar el comando *ident* en la ventana de comandos de MATLAB. Estando en esta ventana de *System Identification* se

deberá importar el objeto *data* creado en el Workspace.

A continuación, se procederá a encontrar una función de transferencia que se ajuste a los datos que se ha importado. Para este proyecto se eligió una función de transferencia de 3 polos y 2 ceros.

En la Figura 5, se muestra el porcentaje en que la función de transferencia encontrada se ajusta a los datos importados.

Figura 5. Comparación entre la función de transferencia encontrada y los datos importados

Fuente: Autores

De esta información se puede conocer que en efecto la función de transferencia encontrada cuenta con 3 polos y 2 ceros, y que se ajusta a los datos obtenidos en un 81.68%.

$$\frac{Velocidad}{ValorDigital} = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{2.53 s^2 - 0.03931 s + 0.9971}{s^3 + 1.121 s^2 + 0.3971 s + 0.4396} \tag{1}$$

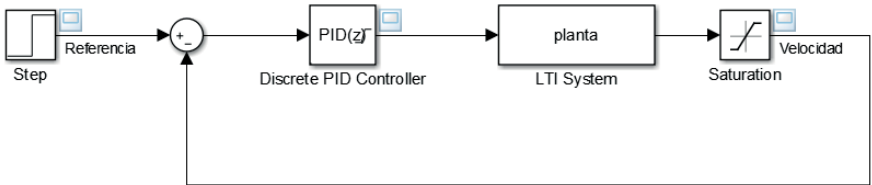
2.7. Diseño del controlador

Para el diseño del controlador también se desarrolló un modelo en Simulink® que facilitará este proceso, el cual se representa en la Figura 6. En el modelo, se tiene en primer lugar una entrada de tipo escalón cuya salida está

Así, la función de transferencia de la planta para los puntos de operación comprendidos entre 1070 ms y 1080 ms es la de la ecuación (1):

conectada a un bloque sumador. Este bloque sumador se encargará de restar la referencia con el valor devuelto por el sensor y enviará esta diferencia al PID discreto, cuya bases se las ha tomado de [9], en donde se tiene las fórmulas de las constates discretas del controlador.

Figura 6. Modelo desarrollado en Simulink para el diseño del controlador



Fuente: Autores

La salida del PID cambiará la variable manipulada de la planta para tomar control de la variable controlada. Se observa también un bloque de saturación, en el cual se pusieron los límites de salida de la planta física. Estos límites se determinaron anteriormente, los cuales eran de 0 a 2700 rpm, de modo que estos valores se colocarán en el bloque de saturación.

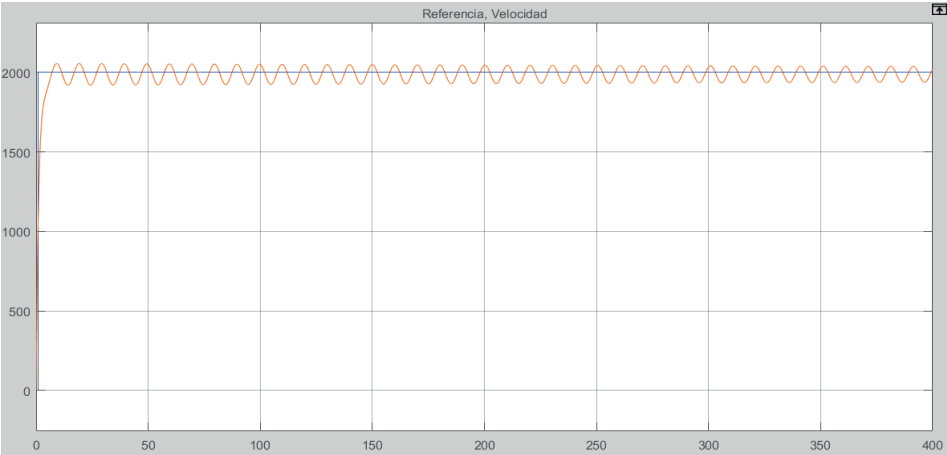
Cuando se ha terminado de ajustar las ganancias del controlador PID con la ayuda de la ventana de PID Tuner, se actualizarán los valores de cada una de

las ganancias en el bloque de PID Discreto de Simulink hay otros métodos de ajustes del controlador como los propuestos por [10], en donde usa un vector derivado de la variable controlada para el cálculo de la variable manipulada y en[11], se realiza el control de un motor sin escobillas en donde el algoritmo borroso permite fijar los parámetros del controlador PID.

En la Figura 8 se observa la simulación del sistema con el controlador calibrado, donde vemos que la salida del sistema alcanza la señal de referen-

cia, aunque con pequeñas oscilaciones alrededor de ella. Con este controlador PID se podrá verificar la respuesta de la planta real con controlador.

Figura 7. Salida del sistema simulada

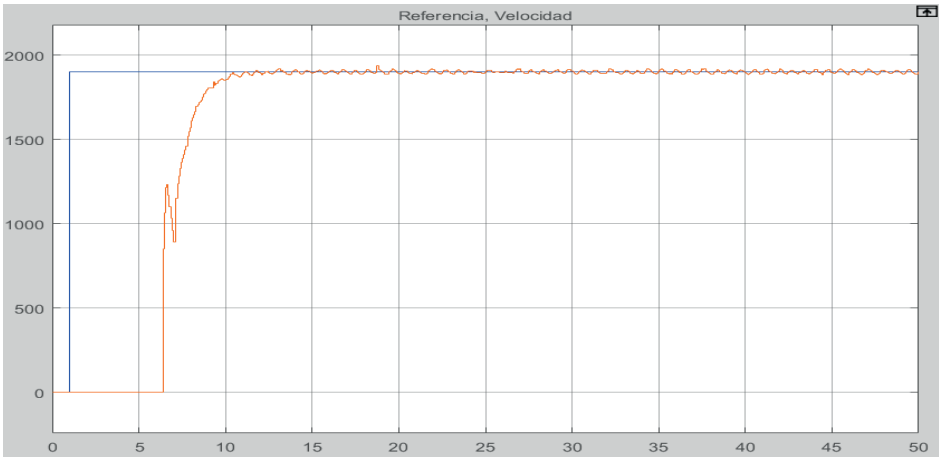


Fuente: Autores

3. RESULTADOS

Con la función de transferencia encontrada, se tomó en cuenta un punto de operación de 1900 rpm, cuya respuesta se puede observar en la Figura 9.

Figura 8. Respuesta del sistema real operando con las ganancias PID encontradas



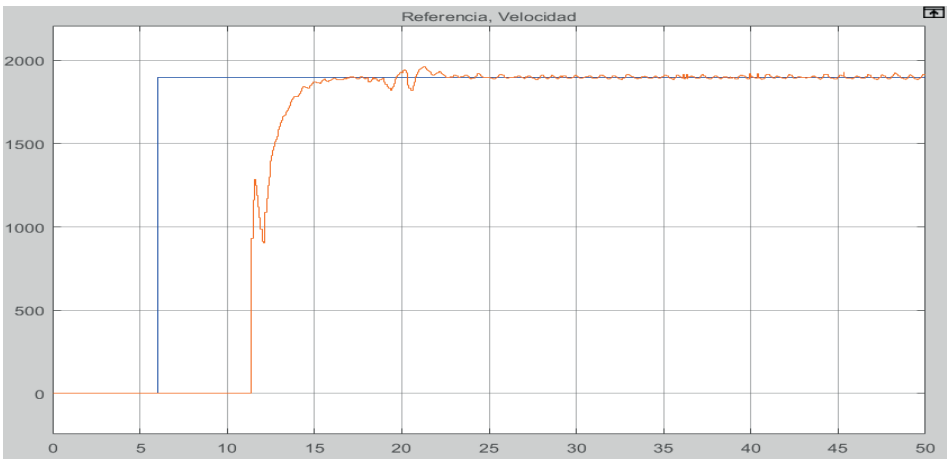
Fuente: Autores

En la respuesta del sistema mostrada, se evidencia en primer lugar un tiempo muerto extenso de unos 7 segundos. Este tiempo muerto aparece por dos situaciones: la primera es que Simulink se demora en inicializar su ejecución y la segunda es que la variable modificada requiere un mínimo valor para empezar a mover el motor, y este valor no es el que se ubicó en el bloque de saturación. Sin embargo, desechando esa parte, la respuesta del sistema es muy bueno el cual tiene una estabilización de aproximadamente un 95% con pequeñas oscilaciones presentes alrededor de la señal de referencia.

En la Figura 10 se puede observar la respuesta del sistema con perturbaciones, en la que se aprecia que el sistema logra estabilizarse en un tiempo de 1 segundo en presencia de una perturbación.

La flexibilidad de diseño de este proyecto permite probar el sistema con distintas constantes de controlador PID, distintos puntos de operación, y distintas funciones de transferencia. Por lo que, con esta planta se pueden realizar pruebas con un sinnúmero de situaciones que se pueden presentar en la actividad real.

Figura 9. Respuesta del sistema real en presencia de una perturbación



Fuente: Autores

4. DISCUSIÓN

Se ha logrado desarrollar un sistema en el que el usuario puede realizar pruebas experimentales de controladores de tipo industrial para maquinas BLC, en donde se tiene algunas ventajas comparadas con otros módulos de tipo didáctico

que se encuentran en la literatura científica entre las que se pueden mencionar:

Se tienen una interfaces para realizar la identificación del modelo del sistema en tiempo en el que se toman los datos

experimentales de la planta y con la aplicación desarrollada se puede obtener el modelo matemático del sistema. Esta aplicación se la utilizado en la identificación de otros prototipos que se construyeron, y realmente resulta de mucho beneficio a la hora de obtener el modelo de plantas en la que es difícil obtener las formulas del sistemas por métodos físicos.

Se puede probar todas las combinaciones de los controladores PID que existen en el mercado tales como los PD, PI, y PID; el software en el que se ha desarrollado lo permite facilitando a los alumnos observar las distintas variantes y los efectos que producen cada uno de ellos en la planta BLDC.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se logró diseñar e implementar una planta didáctica para el control de velocidad de un motor sin escobillas (BLDC), del cual se obtuvieron las siguientes conclusiones:

A través del modelamiento correcto de la planta es posible desarrollar y diseñar un controlador, el cual permita obtener una respuesta estable del sistema. El uso de modelos Simulink para el modelamiento resultó ser una herramienta muy buena y fácil de manejar.

La flexibilidad y portabilidad de las plataformas de programación de hoy en día, como Arduino, permiten crear herramientas muy flexibles y didácticas

Se puede monitorear en tiempo real las distintas señales de la planta con lo que el usuario del sistema puede relacionar los resultados con los conocimientos teóricos adquiridos en las clases de control automático.

En un prototipo didáctico que se desarrolle es de mucha ventaja también contar con el software que le permita al usuario tener una herramienta que para obtener el modelo matemático del su sistema, normalmente las plantas didácticas carecen de esta aplicación como la desarrollada por Yu y Li [12], y en este desarrollo se presenta esta aplicación

que puedan ser útiles en el campo educativo y en la formación profesional de los estudiantes.

La comunicación serial establecida entre un microcontrolador y Simulink entrega un sinnúmero de ventajas en el diseño e implementación de un sistema de control.

MATLAB & Simulink es una poderosa herramienta que ayuda al modelamiento de la planta a controlar, y también una gran solución para la creación de una interfaz de usuario amigable que permita la comparación de los datos reales con los simulados, como también la visualización de estos datos en tiempo real.

REFERENCIAS

- [1] Keeping S., *An Introduction to Brushless DC Motor Control*, Fecha de Acceso: 28/08/2017, <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/mar/an-introduction-to-brushless-dc-motor-control>
- [2] Hareendran, T., *Optical Position Encoder with Arduino*, Fecha de Acceso: 02/09/2017, <http://www.electroschematics.com/10494/arduino-optical-position-rotary-encoder/>
- [3] IEEE GlobalSpec, *Phototransistor Information*, Fecha de Acceso: 28/08/2017, http://www.global-spec.com/learnmore/optics_optical_components/optoelectronics/phototransistors
- [4] ZJchao., *Hobbypower A2212 1000kv Brushless Motor + 30a ESC for Multicopter 450 X525 Quadcopter*. Fecha de Acceso: 09/09/2017, https://www.amazon.com/gp/product/B00E7L-G85O/ref=oh_aui_detailpage_o00_s00?ie=UTF8&psc=1
- [5] TEConnectivity, *Durable Electronic Speed Controller*, Fecha de Acceso: 28/08/2017, <http://www.schematics.com/project/durable-electronic-speed-controller-18147/>
- [6] Vinnakota, P., *Data-Driven Control: Data Adquisition*, Fecha de Acceso: 28/08/2017, <https://www.mathworks.com/videos/data-driven-control-data-acquisition-70898.html>
- [7] Vinnakota, P., *Data-Driven Control: System Identification*, Fecha de Acceso: 28/08/2017, <https://www.mathworks.com/videos/data-driven-control-system-identification-70897.html>
- [8] Vinnakota, P., *Data-Driven Control: Controller Design and Implementation*, Fecha de Acceso: 28/08/2017, <https://www.mathworks.com/videos/data-driven-control-controller-design-and-implementation-70899.html>
- [9] Durdán, M., Kačur, J., Laciak, M., Discreet control of annealing process with utilization of indirect measurement, *Proceedings of the 2012 13th International Carpathian Control Conference, ICC 2012* 6228631, pp. 141-146
- [10] Hlava, J., Zemtsov, N., Frantsuzova, G., Application of PID controller based on the localization method for ancillary service provision, *2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 - Proceedings* 7491747, 2016.
- [11] Zhang, Y.H., Song, L.P, Brushless DC motor speed control system based on fuzzy PID control *Advanced Materials Research* 989-994, pp. 3172-3176, 2014.
- [12] Yu, W., & Li, X., *A Magnetic Levitation System for Advanced Control Education*. Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings/ifac2014/media/files/0147.pdf>, 2014.

Digital resources in the educational process for the development of university teaching

Recursos digitales en el proceso educativo para el desarrollo de la docencia universitaria

F. Gordillo¹, F. Romero², V. Cos³

Abstract: *The use of technological means of communication are necessary in the development of learning competences for students of technical careers so as to facilitate the access and exchange of information and the creation of simulated environments. Among this tools, the email stands out because of its flexible and open nature that makes it possible to use it in different contexts and learning situations. The present research focused on evaluating the efficient use of digital resources for the self-learning of university students. The research was developed in the Faculty of Agrarian Sciences of the University of Guayaquil, identified semesters and courses during two consecutive periods of school. Dissemination activities were carried out among the students, groups and departments involved, in which students from the agronomic engineering career participated, teachers with extensive experience in the agricultural and research field, society and support staff. The tool used for the Analysis is the SPSS computation package. In the levels of education of the university race the electronic mail is of average relevance; The virtual classroom is considered a complicated tool; Since it depends on the platforms that the institutions use; however, the YouTube tool is highly relevant, lacks learning parameters such as availability, ability to communicate and dedication; also, the high*

resource for its implementation and the technological surveillance to the students.

Keywords: *learning environments, email, higher education.*

Resumen: El uso de medios de comunicación tecnológicos es necesario en el desarrollo de competencias de aprendizaje para estudiantes de carreras técnicas, para facilitar el acceso e intercambio de información y la creación de entornos simulados, entre otras funciones. Entre estas herramientas, el correo electrónico destaca por su carácter flexible y abierto, permitiendo su utilización en diferentes contextos y situaciones de aprendizaje. La presente investigación se enfocó en evaluar el uso eficiente de recursos digitales para el autoaprendizaje de estudiantes universitarios. La investigación se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Guayaquil, se identificaron semestres y cursos durante dos periodos lectivos consecutivos. Se desarrollaron actividades de carácter divulgativo entre los estudiantes, colectivos y departamentos implicados, en los cuales participaron estudiantes de la carrera de ingeniería agronómica, docentes con amplia experiencia en el campo agrícola e investigativo, sociedad y personal de apoyo. La herramienta utilizada para el análisis es el paquete de

-
- 1 Fabián Alberto Gordillo Manassur, Magíster en Gestión de Proyectos, Ingeniero Agrícola y Biológico, Docente de la Universidad de Guayaquil, fabian.gordillom@ug.edu.ec
 - 2 Fernanda Yamileth Romero Blacio, estudiante de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil, fernanda.romerob@ug.edu.ec
 - 3 Valeria Mishelle Cos Farias, estudiante de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil, valeria.cosf@ug.edu.ec

cómputo SPSS. En los niveles de educación de la carrera universitaria, el correo electrónico es de relevancia media; el aula virtual es considerada una herramienta complicada, ya que depende de las plataformas que las instituciones utilizan; sin embargo, la herramienta YouTube es de alta relevancia,

carece de parámetros de aprendizaje como disponibilidad, capacidad de divulgación y dedicación, además del alto recurso para su implementación y la vigilancia tecnológica a los estudiantes.

Palabras clave: ambientes de aprendizaje, correo electrónico, educación superior.

1. INTRODUCCIÓN

El hombre ha utilizado en cada momento de su evolución la aparición de nuevas tecnologías en función de su desarrollo intelectual [1]; fortaleciendo el desarrollo de las tecnologías educativas (TE). El empleo de estas en todas las esferas sociales ha provocado cambios en estudiantes universitarios. La práctica pedagógica en las universidades contemporáneas está urgida de realizar cambios que se adecúen a las exigencias del versátil mundo de la ciencia y la tecnología hacia donde se dirigirán sus egresados, por tanto, una de las funciones de la formación actual y futura debe ser promover la capacidad de gestión de aprendizajes, adoptar una autonomía creciente y disponer de herramientas intelectuales y sociales que les permitan un desarrollo continuo a lo largo de toda su vida [2], [3].

El estudiante debe cambiar los hábitos: de ser pasivo, de esperar que las cosas sucedan, debe convertirse en el personaje principal del proceso de aprendizaje. Se vuelve realidad el principio de que el estudiante ha de ser el centro del proceso, debe responsabilizarse con su propio aprendizaje asumiendo un papel activo.

Existe el modelo blended-learning o semipresencial se caracteriza por

la mezcla entre procesos de enseñanza-aprendizaje en espacios presenciales con otros que tienen lugar en la virtualidad, mediante el uso de ordenadores y aulas virtuales. A través de este modelo de enseñanza semipresencial los docentes cuentan con un espacio en el que pueden desarrollar y generar múltiples situaciones de aprendizaje y donde los estudiantes pueden experimentar nuevas formas de aprender autónomamente y colaborativamente [4]. En consecuencia, para que pueda existir un uso pedagógico adecuado de estos campus y aulas virtuales es necesario que el profesorado y el alumnado desarrollen habilidades y competencias TIC para poder aprovechar el potencial educativo de dichas herramientas o expresado en otros términos, dispongan de suficiente competencia digital [5].

Un medio de comunicación indispensable es el correo electrónico; ya que permite enviar mensajes a otras personas a través de las redes de cómputo del mundo, con la posibilidad de intercambiar documentos en diferentes formatos [1]; sin embargo, [6] indica que una primera cuestión que caracteriza la educación superior que utiliza aulas virtuales es el desarrollo de una docencia competente y que las aulas

virtuales puede fragmentar el espacio educativo, en el caso de la utilización de tecnologías sincrónicas que conectan a personas en espacios diversos, y puede crear continuidades en el tiempo y los ritmos educativos, en el caso de la utilización de tecnologías asincrónicas que conectan a personas en momentos temporales diferentes. No ocurre así en la educación presencial, en donde el desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje el alumno y el profesor se encuentran en la misma dimensión espacio-temporal.

Hoy en día un porcentaje muy elevado de la población maneja Internet en su casa, y ese porcentaje aumenta de forma vertiginosa año a año; en cambio hay muchas personas que por diversos motivos no pueden acudir a centros educativos y tratan de estudiar por su cuenta. En estos casos, Youtube puede emplearse para impartir clases a esas personas; sin embargo, su efectividad en el aprendizaje está directamente relacionada con el medio audiovisual utilizado por el emisor y receptor, ya que se trata de un sitio web en el que se comparte todo tipo de videos [7].

2. MÉTODOS

Por lo expuesto, la presente investigación se enfocó en evaluar el uso eficiente de recursos digitales para el autoaprendizaje de estudiantes universitarios.

La investigación se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Guayaquil, para lo cual se identificaron los semestres y cursos durante dos periodos lectivos consecutivos; de acuerdo a parámetros como: número de estudiantes, nivel de estudios y asignaturas técnicas. Con estos datos se realizó un mapeo distributivo de los sitios donde se podrían ejecutar las actividades. Luego se desarrollaron actividades de carácter divulgativo (conferencias, talleres, charlas, folletos, trípticos y seminarios) entre los estudiantes, colectivos y departamentos implicados, en los cuales participaron estudiantes de la carrera de ingeniería agronómica de la Universidad de Guayaquil, docentes con amplia experien-

cia en el campo agrícola e investigativo, sociedad y personal de apoyo. Dichas actividades a partir de socializar, tuvieron la finalidad de identificar las actividades y medios más adecuadas para impulsar el cambio requerido.

2.1. Análisis del medio tecnológico

Con los datos obtenidos se determinó el medio tecnológico adecuado para el aprendizaje de acuerdo a la accesibilidad, disponibilidad, capacidad divulgativa, horas de dedicación y recurso necesario para su implementación [8], [9], (Tabla 1).

2.2. Análisis de las actividades de socialización para potencializar cambios en el aprendizaje

Para analizar las actividades, se realizaron gráficas comparativas por medio de las entrevistas de tipo presencial y encuestas que incluían preguntas de tipo dicotómicas, estructuradas, no es-

tructuradas, escalas Likert, entre otras, por lo que luego se realizó la transcripción de los datos codificados a la base de datos con códigos de campo fijos. La edición en la revisión de cuestionarios

se realizó a través de preguntas cruzadas, que indicaron la congruencia de las respuestas. Luego de esta depuración, se procedió a codificar las encuestas, el encuestador y las preguntas.

Tabla 1. Parámetros de evaluación de medios de comunicación para el aprendizaje

Medio de comunicación	Parámetro	Relevancia
Correo electrónico Aula virtual YouTube Presencial	Accesibilidad Disponibilidad Capacidad divulgativa Dedicación Recursos necesarios para su implementación	Alta Medio Baja

Fuente: Autores

La herramienta utilizada para el análisis es el paquete de cómputo SPSS y se lo programó para identificar los valores fuera de rango. Las respuestas faltantes fueron fueran sustituidas con un valor neutro. Finalmente se procedió a definir las variables.

Todos los cuestionarios utilizados para la investigación incluyeron proce-

dimientos e instructivos previos para el trabajo de campo.

La investigación se centró en características, requerimientos y beneficios de los medios tecnológicos, origen de los estudiantes, investigaciones realizadas en el campo de estudio y su relación con la actividad agrícola.

3. RESULTADOS

Mediante la evaluación de la relevancia de los medios de comunicación más aplicados por docentes en los diferentes semestres, se identificó que para todos los semestres el canal de comunicación YouTube es de alta relevancia en su aprendizaje. El correo electrónico es de relevancia media en todos los semestres, el aula virtual es de relevancia baja para los estudiantes de primero, segundo y tercer semestre; sin embargo, aumenta la relevancia hasta alta a partir

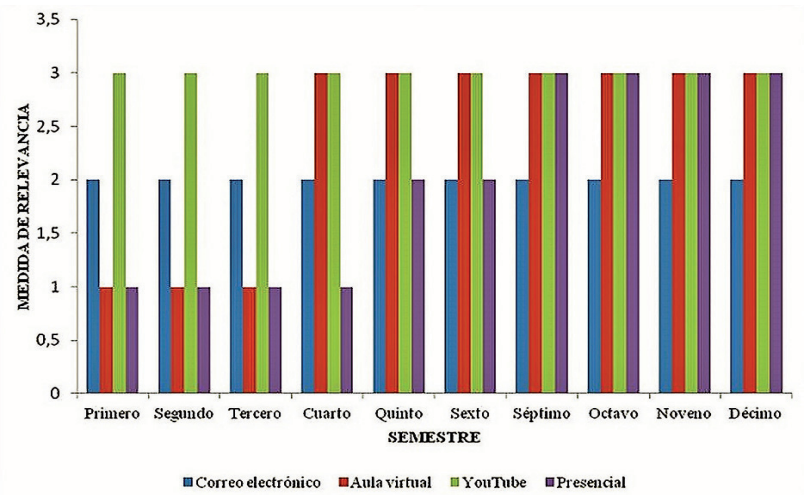
del cuarto semestre en adelante; y, la medida de relevancia en lo presencial es baja en los primeros semestres (primero a cuarto), media en los semestres quinto y sexto, y alta desde séptimo a décimo semestre (Figura 1).

En la Figura 2 se establece la relevancia de los medios de comunicación en el aprendizaje desde los parámetros estudiados. El correo electrónico es un medio de alta disponibilidad, accesibilidad y dedicación, media capacidad

divulgativa y bajos recursos necesarios para su implementación; el aula virtual es alta en recurso necesario para su implementación y dedicación, media en disponibilidad y baja en disponibilidad y capacidad divulgativa; YouTube es

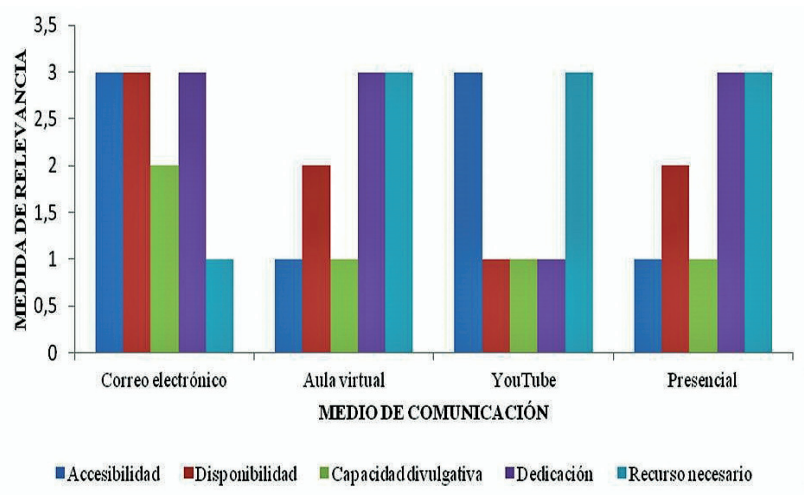
alto en accesibilidad y recurso necesario, bajo en disponibilidad, capacidad divulgativa y dedicación; y, presencia es alta dedicación y recurso necesario, medio en disponibilidad y baja en accesibilidad y capacidad divulgativa.

Figura 1. Relevancia de los medios de comunicación por semestre de estudio



Fuente: Autores

Figura 2. Relevancia de los medios de comunicación por parámetros de aprendizaje



Fuente: Autores

4. DISCUSIÓN

El sistema de aprendizaje es visto como un sistema en el cual la tecnología es indispensable y cumple un papel muy importante en el desarrollo de competencias de estudiantes y docentes; tal como lo establece [10], que el rol de la didáctica ante la presencia de las TIC en el contexto educativo de las instituciones municipales de educación no ha logrado la optimización del aprendizaje y el desarrollo personal [11], [12], [13], [14], pues las debilidades encontradas en cuanto a las competencias técnicas, en especial el usar apropiadamente los principios y las técnicas de interacción persona-ordenador y didácticas al determinar cómo se peculiarizan las interacciones del estudiante con la tarea disciplinaria, a partir de los criterios de logro

y paradigmáticos que el docente impone e ilustra cuando se relaciona con la tarea; así lo evidencian [10], [14], [15].

Se debe consolidar la formación del estudiante mediante el modelo por competencias profesionales, el cual implica que los programas educativos propicien el desarrollo de competencias técnicas. El [10] establece que el correo electrónico es un medio de comunicación altamente utilizado por los estudiantes debido a sus múltiples opciones de usos desde sus móviles; además, la principal ventaja de estas tecnologías recae sobre la posibilidad de romper las barreras espacio temporales que han influido sobre las actividades formativas en los sistemas educativos universitarios convencionales [16], [17].

5. CONCLUSIONES

En los niveles de educación de la carrera universitaria, el correo electrónico es de relevancia media; el aula virtual es considerada una herramienta complicada, ya que depende de: a) la experiencia en el uso de los medios informáticos; b) el grado de familiaridad que se tenga con la enseñanza virtual de acuerdo a las plataformas que las instituciones utilizan; c) la flexibilidad desarrollada en el proceso docente, y d) la práctica en la dinámica participativa y de facilitación

del aprendizaje para la caracterización y comprensión del proceso de aprendizaje del estudiante y las competencias específicas que necesita desarrollar para que su aprendizaje sea de calidad; sin embargo, la herramienta YouTube es de alta relevancia pero carece de parámetros de aprendizaje como disponibilidad, capacidad de divulgación y dedicación; además, del alto recurso para su implementación y la vigilancia tecnológica a los estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias Agrarias y sus estudiantes por la colaboración y servicios que gentilmente han sido proporcionados para el grupo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] V. Ávila, “El correo electrónico y su uso óptimo en la búsqueda de información”: cinco años de experiencias. *ACIMED*, vol. 13, no. 5, 2005, p. 1-1.
- [2] R. González, J. Cardentey, D. Labrador, “Las tecnologías educativas en el proceso formativo de valores en estudiantes universitarios”. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, vol. 19, no. 5, 2015, p. 868-876.
- [3] S. González, U. Recino, “Las estrategias de aprendizaje en la Educación Médica Superior”. *EDUMECENTRO*, vol. 5, no. 3, 2013, p. 2.
- [4] O. Turpo, “Perspective of Pedagogical and Technological Convergence in Blended Learning”. *Revista de Educación a Distancia*. Universidad Peruana Cayetano Heredia, no. 39.
- [5] M. San Nicolás, E. Fariña, M. Area, “Competencias digitales del profesorado y alumnado en el desarrollo de la docencia virtual. El caso de la Universidad de la Laguna”. *Revista Historia de la Educación Latinoamericana*, vol. 14, no. 19, 2012, p. 227-245.
- [6] E. Barberá, A. Badia, “El uso educativo de las aulas virtuales emergentes en la educación superior”. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento*, vol. 2, no. 2, 2005.
- [7] P. Navarro, “YouTube como herramienta didáctica en el aula de inglés”. Tesis de postgrado. Universidad de Almería, 2013.
- [8] A. García, “Evaluación de recursos tecnológicos didácticos mediante e-rúbricas”. *Revista de Educación a Distancia*, no. 49, 2016, p.13.
- [9] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), “Evaluación de medios y métodos de transferencia de tecnología en el departamento de Meta”. Jaramillo Salazar, C.A. Villavicencio (Colombia), 2000, p. 97.
- [10] M. López, “Uso de las TIC en la educación superior de México. Un estudio de caso”. *Apertura*, vol. 7, no. 7, noviembre, 2007, pp. 63-81.
- [11] S. Parra, M. Gómez, M. Pintor, “Factors affecting the implementation of ICT in teaching and learning processes in the 5th level of a Colombian primary school”. *Revista Complutense de Educación*, vol. 26, 2015, p. 197-213.
- [12] L. Hernández, J. Acevedo, C. Martínez, B. Cruz, “El uso de las TIC en el aula: un análisis en términos de efectividad y eficacia”. Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación, artículo 523, 2014.
- [13] D. Fernández, C. Neri, “El uso de las TICs y los estudiantes Universitarios”. Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación, artículo 1181, 2014.
- [14] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, “Las tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza Manual para docentes o Cómo crear nuevos entornos de aprendizaje abierto por medio de las TIC”, 2005.
- [15] G. Morales, B. Peña, A. Hernández, C. Carpio, “Competencias didácticas y competencias de estudio: su integración funcional en el aprendizaje de una disciplina”. Universidad Nacional Autónoma de México, *Revista Alternativas y Psicología*, vol. 37, 2017.
- [16] C. Belloch, “Las Tecnologías de la Información y Comunicación en el aprendizaje”. Departamento de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación. Universidad de Valencia, 2012.

- [17] C. Ferro, A. Martínez, M. Otero, “Ventajas del uso de las tics en el proceso de enseñanza aprendizaje desde la óptica de los docentes universitarios españoles”. *Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, no 29, Julio, 2009.

How to learn linear programming by modeling daily life problems in a spreadsheet?

¿Cómo aprender programación lineal modelando problemas de la vida diaria en una hoja de cálculo?

L. Garcés-Villón¹

Abstract: *Having tools to make an appropriate decision in the world of business is of great importance because it ensures the proper functioning of an organization, teachers must identify examples that give a greater understanding of the use of these techniques. Under this context, in this article seeks that the student learn a mathematical model using linear programming with Solver Excel spreadsheet, applying an example of daily life as is the purchase of food for the home. After developing the case described describing how to use the method, the results obtained from the optimal purchase amount are shown according to the budget assigned to this item in an Ecuadorian family.*

Keywords: *Spreadsheet, Simplex Method, Linear Programming, Solver.*

Resumen: Tener herramientas para tomar una decisión adecuada en el mundo de los negocios es de gran relevancia, porque asegura el buen funcionamiento de una organización. Los docentes deben de identificar ejemplos que den una mayor comprensión sobre el uso de estas técnicas. Bajo este contexto, en el presente artículo busca que el estudiante aprenda un modelo matemático utilizando programación lineal con Solver de la hoja de cálculo Excel, aplicando un ejemplo de la vida diaria como es la compra de alimentos para el hogar. Luego de desarrollar el caso planteado describiendo cómo utilizar el método, se muestran los resultados que se obtiene de la cantidad óptima de compra de acuerdo al presupuesto asignado a este rubro en una familia ecuatoriana.

Palabras clave: Hoja de Cálculo, Método Simplex, Programación Lineal, Solver.

¹ Laura Garcés Villón, MBA., Ingeniera de Sistemas, Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, lgarcés@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Los docentes universitarios tienen la responsabilidad de educar a los profesionales del mañana, y en este ejercicio de la docencia, es fundamental ofrecer a los educandos las herramientas necesarias para que puedan ser capaces de aplicarlas en diferentes contextos del ámbito laboral.

Una de estas herramientas es la programación lineal con método Simplex que te permite modelar, analizar e interpretar problemas para tomar decisiones de manera inteligente con la información disponible, pero, así como podemos resolver casos reales de una industria u organización, se puede utilizar para solucionar inconvenientes de la vida diaria, de una forma práctica y amigable con el complemento Solver de la hoja de cálculo de Excel [1], [2]. El reto del presente documento es que se pueda entender de forma rápida y sencilla el método descrito.

En los textos que explican sobre programación lineal, pueden asegurar que es fácil introducir en una hoja de cálculo las características principales de un modelo matemático. Sin embargo, este software puede hacer mucho más que sólo desplegar datos. Si se incluye cierta información adicional, la hoja de cálculo se puede usar para analizar con rapidez soluciones potenciales [3]. Para poder explicar cómo utilizar esta herramienta y confirmar que realmente es fácil de utilizar, se ha escogido la optimización de la cantidad de artículos de primera necesidad que se adquiere en una fami-

lia ecuatoriana, con la finalidad de evitar gastos innecesarios por adquirir una cantidad inapropiada de productos que afectan el presupuesto familiar, considerando el registro promedio de personas por hogar de 3,9 miembros a Nivel Nacional [4]. Este caso se considera como un ejemplo de la vida diaria, por la importancia de evitar compras innecesarias determinada desde la perspectiva que el ahorro no solo es el dinero destinado a guardar, sino también el economizar los gastos y las compras de productos, que es un rubro necesario para los gastos de alimentación en un hogar [5].

Es un desafío la enseñanza sobre investigación de operaciones; la búsqueda para que las herramientas de investigación operativa sean más relevantes e interesantes para los estudiantes, no es nueva [6]. Por lo que se ha querido ser constructivista para el desarrollo del ejemplo que se plantea, como estrategia de enseñanza y aprendizaje, para lograr una ilustración significativa, que sea aplicada por el estudiante mediante un proceso en el cual reflexiona, crea, procesa y organiza la información que recibe para alcanzar su aprendizaje [7] a partir de una información cotidiana, que haga que el estudiante se vuelva de a poco más analítico, capaz de comprender la nueva información que se le presente [8].

En el presente artículo se encontrará en la sección II la metodología empleada, donde se especifica los componentes de programación lineal para formular el caso a resolver [9], además de los

datos mencionados como variables de decisión y el precio de cada producto seleccionado para este cálculo de acuerdo a la lista de uno de los supermercados de mayor frecuencia de las familias ecuatorianas [10]. En la III sección se visualizan los resultados obtenidos utilizando la herramienta Solver de Excel. La sección IV es de discusión donde se narra la importancia de usar este tipo de

herramienta de optimización y, a partir de ejemplos sencillos, ir incrementando el nivel de información e importancia de acuerdo al sector donde desea tener un mejor resultado utilizando este método de programación lineal. En la sección V se realiza una breve conclusión del tema, y en la sección VI se describe las referencias utilizadas para la realización del presente artículo.

2. METODOLOGÍA

A continuación se presenta paso a paso el procedimiento utilizado para desarrollar el ejemplo de la cantidad óptima de productos que debe adquirir una familia ecuatoriana. Se ha considerado los 20 productos de mayor consumo de acuerdo a los resultados de la última encuesta Nacional de ingresos y gastos de los hogares urbanos y rurales del 2011-2012. Estos productos, en orden de importancia son: el pan corriente, arroz blanco, colas y/o gaseosas, lecha entera en funda, pechuga, alas y piernas de pollo, pollo entero, queso de mesa, aceite de palma africana, huevos de incubadora, agua sin gas purificada, entre otros. Los productos concentran el 52% del gasto en alimentos y bebidas no alcohólicas de los hogares [4].

1.1 Formulación

Un modelo de programación lineal está compuesto de un conjunto de variables de decisión, su función objetivo y por último la definición de un conjunto de restricciones identificadas en la información que se obtiene del caso [11]. En el ejemplo que se plantea las variables de decisión son cada uno de los 20 productos descritos como de mayor consumo, la función objetivo la conforma estas variables por el costo de cada uno de estos, los mismos que han sido determinados de acuerdo a la lista de precios de uno de los supermercados más concurridos del país [10]. Los precios descritos en la Tabla 1 fueron observados en el mes de septiembre del 2017 [10].

Tabla 1. Lista de productos de mayor consumo

No.	Medida	Productos	Precios
1	2 Kg.	Pan corriente trigo	\$ 2,07
2	5Kg.	Arroz blanco	\$ 6,89
3	3L	Gaseosas	\$ 2,25
4	1L	Leche entera	\$ 1,23
5	1Kg	Presas de pollo	\$ 2,89

No.	Medida	Productos	Precios
6	1Kg	Pollo o gallina enteros	\$ 3,15
7	500gr	Queso de mesa	\$ 2,87
8	1L	Aceite vegetal	\$ 1,67
9	30u	Huevos	\$ 4,67
10	2L	Agua sin gas purificada	\$ 0,91
11	1Kg	Carne de res con hueso	\$ 3,30
12	1Kg	Azúcar refinada	\$ 0,88
13	1Kg	Pulpa de res	\$ 8,90
14	1Kg	Carne corriente de res	\$ 3,85
15	2Kg.	Papa chola	\$ 2,07
16	1Kg	Pechuga de pollo	\$ 2,89
17	175g	Atún en aceite vegetal	\$ 1,30
18	1Kg	Tomate riñón	\$ 1,33
19	5Kg	Arroz	\$ 6,12
20	1Kg	Cebolla paiteña	\$ 2,80

Fuente: Lista de precios Importadora Rosado

Se define la formulación de este modelo matemático de programación Lineal de la siguiente manera:

- X_1 = Pan corriente trigo de 2 Kg.
- X_2 = Arroz blanco de 5 Kg
- X_3 = Colas y/o gaseosas de 3 litros.
- X_4 = Leche entera funda de 2 litros.
- X_5 = Pechuga, alas y piernas de pollo de 1Kg
- X_6 = Pollo, gallina entero sin plumas de 1 Kg
- X_7 = Queso de mesa de 500gr
- X_8 = Aceite vegetal de palma africana de 1 litro
- X_9 = Huevos de granja (incubadora) 30 unidades
- X_{10} = Agua sin gas purificada de 2 litros
- X_{11} = Carne de res con hueso 1Kg
- X_{12} = Azúcar refinada (blanca) 1Kg
- X_{13} = Pulpa de res 1Kg
- X_{14} = Carne corriente de res 1Kg
- X_{15} = Papa chola 2Kg
- X_{16} = Pechuga de pollo 1Kg
- X_{17} = Atún en aceite vegetal
- X_{18} = Tomate riñón
- X_{19} = Arroz flor 5Kg

X_{20} = Cebolla paiteña colorada 1Kg
 Z = La combinación óptima de cantidades de productos a adquirir para un presupuesto de \$164,00 que es el gasto promedio mensual en alimentación de la familia ecuatoriana promedio en el área urbana [4].

El objetivo es elegir las cantidades óptimas para las variables desde X_1 a X_{20} para $Z = 2,07X_1 + 6,89X_2 + 2,25 X_3 + 1,23 X_4 + 2,89X_5 + 3,15X_6 + 2,87X_7 + 1,67X_8 + 4,67X_9 + 0,91X_{10} + 3,30X_{11} + 0,88X_{12} + 8,90X_{13} + 3,85X_{14} + 2,07X_{15} + 2,89X_{16} + 1,30X_{17} + 1,33X_{18} + 6,12X_{19} + 2,80X_{20}$. Esta fórmula es la función objetivo compuesta de acuerdo a la cantidad obtenida en las variables por el costo del producto según el detalle que se describe en la Tabla 1. Estas variables se sujetan a la restricción de la cantidad de personas que viven en el hogar. Considerando para este ejemplo los 4 miembros que en promedio, conforman un núcleo familiar en el Ecuador [4].

1.2 Solución por Método Simplex utilizando Solver

Para la utilización del método Simplex utilizando Solver en la hoja de cálculo Excel, se inicia transfiriendo los datos de la Tabla 1 a Excel.

En la hoja de cálculo se definen las variables, sus coeficientes (que representan los precios de cada producto), se deja una fila para el resultado de cada variable

X que se obtenga, se especifica la celda donde se obtendrá el resultado Z y se especifica en las restricciones que como mínimo se debe escoger un producto.

Luego, se especifica la función suma producto para la celda Z que será el resultado de la optimización como se muestra en la Figura 1. De igual manera se asigna la función suma producto para las celdas de restricciones como puede apreciarse en la Figura 2.

Figura 1. Función Sumaproducto para la función Z

Variables =	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀
Coefficientes =	2,07	6,89	2,25	1,23	2,89	3,15	2,87	1,67	4,67	0,91	3,30	0,88	8,90	3,85	2,07	2,89	1,30	1,33	6,12	2,80
Valores calculados =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z =	0																			

Fuente: Autor

Figura 2. Función Sumaproducto para cada restricción

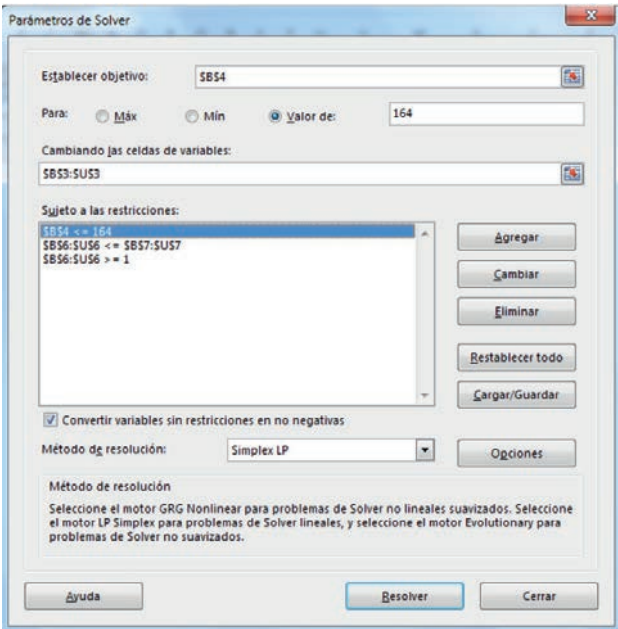
Variables =	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀
Coefficientes =	2,07	6,89	2,25	1,23	2,89	3,15	2,87	1,67	4,67	0,91	3,30	0,88	8,90	3,85	2,07	2,89	1,30	1,33	6,12	2,80
Valores calculados =	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z =	0																			
Restricciones	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Fuente: Autor

Una vez formulada la hoja de cálculo Excel, el usuario de la herramienta selecciona el complemento Solver que se encuentra en la pestaña Datos de la sección análisis. A continuación, se es-

pecifican las celdas que se han formulado y el método de resolución (que en este caso es el método Simplex de programación lineal), como se evidencia en la Figura 3.

Figura 3: Parámetros de Solver



Fuente: Autor

3. RESULTADOS

Al especificar los datos necesarios en los parámetros de Solver y activar la resolución, se pueden visualizar en Excel los valores de X que optimizan la función objetivo Z de acuerdo a las restricciones establecidas, como se detalla en la Figura 4.

Figura 4: Resultados de Solver

Variables =	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀
Coefficientes =	2,07	6,89	2,25	1,23	2,89	3,15	2,87	1,67	4,67	0,91	3,30	0,88	8,90	3,85	2,07	2,89	1,30	1,33	6,12	2,80
Valores calculados =	1,0	4,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0	4,0	1,0	4,0	1,0	4,0	4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	1,0
Z =	164																			

Fuente: Autor

En todas las variables se ha respetado el mínimo de 1 unidad de producto para cumplir el límite del presupuesto destinado para alimentos de \$ 164,00. Los resultados obtenidos en Excel se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Lista de productos de mayor consumo

No.	Medida	Productos	Cantidad
1	2 Kg.	Pan corriente trigo	1
2	5Kg.	Arroz blanco	4
3	3L	Gaseosas	1
4	1L	Leche entera	1
5	1Kg	Presas de pollo	4
6	1Kg	Pollo o gallina enteros	4
7	500gr	Queso de mesa	1
8	1L	Aceite vegetal	1
9	30un	Huevos	4
10	2L	Agua sin gas purificada	1
11	1Kg	Carne de res con hueso	4
12	1Kg	Azúcar refinada	1
13	1Kg	Pulpa de res	4
14	1Kg	Carne corriente de res	4
15	2Kg.	Papa chola	1
16	1Kg	Pechuga de pollo	1
17	175g	Atún en aceite vegetal	1
18	1Kg	Tomate riñón	1
19	5Kg	Arroz	4
20	1Kg	Cebolla paiteña	1
Z			164

Fuente: Autor

4. DISCUSIÓN

El caso se ha resuelto de forma práctica para facilitar el aprendizaje con un ejemplo para optimizar la cantidad de compra de productos de mayor consumo. La formulación en Excel sirve para poder modificar la cantidad o precio de productos que se han especificado, así como agregar o variar restricciones establecidas [12].

Una vez que se domina el manejo de esta hoja de cálculo utilizando Solver, con la información necesaria se puede

buscar optimizar otros casos de la vida diaria como la cantidad de focos que deben estar prendidos en una casa para disminuir el gasto de energía eléctrica, el consumo de alimentos permitidos para una dieta que mida el número de calorías que se consumen, la utilización de gasolina de un vehículo de acuerdo al kilometraje, etc. Estos son ejemplos que se evidencia con facilidad y pueden ser de mucha utilidad para iniciar el

aprendizaje en investigación operativa con el modelo matemático de programación lineal, para luego también poder incursionar en otros temas como en la gestión de pequeñas empresas la cual aún falta de ser aprovechada por planificadores y asesores de dicho sector [13].

Se debe considerar para obtener resultados realmente óptimos y reales, toda la información posible para cada caso. En investigación operativa el especialista es como un auditor, sin toda la información del problema a solucionar la optimización no es la correcta [11].

5. CONCLUSIONES

La forma de enseñar ha ido cambiando con el pasar de los años debido a la aparición de nuevas tecnologías [14]. Ello implica que el docente universitario debe identificar estas herramientas y adoptarlas en sus procesos de enseñanza aprendizaje para que los discentes puedan comprender con mayor facilidad los contenidos cognitivos y procedimentales propios del microcurrículo de cada asignatura. En el caso específico de Investigación de operaciones, tal como muestra este trabajo, la posibilidad de modelar y optimizar problemas sencillos de la vida cotidiana como la

compra de alimentos para el hogar, puede favorecer a tal propósito.

En el presente artículo se ha demostrado cómo en pocos pasos y con información real, se puede practicar la forma de resolver un caso de programación lineal en una hoja de cálculo con Solver. Las habilidades adquiridas por los estudiantes en la resolución de este y otros casos de la vida cotidiana pueden contribuir a motivar al estudiante en el corto plazo a intentar modelar y optimizar problemas multiobjetivo de mayor complejidad matemática [15].

REFERENCIAS

- [1] I. Quintas and I. S. Guevara, *Programación lineal: El modelado, las aplicaciones y la interpretación*, 2012.
- [2] A. Suñé, J. B. Fonollosa, and V. Fernández, *Programación lineal: métodos cuantitativos para la toma de decisiones*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.
- [3] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, "Formulación y solución de modelos de programación lineal en una hoja de cálculo," in *Introducción a la Investigación de Operaciones*, 2010, p. 85.
- [4] INEC, "Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los hogares urbanos y rurales 2011- 2012," Ecuador, 2012.
- [5] El Universo, "El ahorro, decisión determinante en mujeres que buscan progresar," Ecuador, p. 1, 07-Mar-2017.
- [6] R. J. Campbell and R. H. McClure, "Teaching modeling when we teach linear programming: Making LP come alive," in *Proceedings - Annual Meeting of the Decision Sciences Institute*, 1996, vol. 2, pp. 1012-1014.
- [7] M. Vargas and A. Patricia, "Propuesta para la enseñanza y aprendizaje de las inecuaciones lineales," *Rev. Educ.*, vol. 37, 2013, pp. 1-16.

- [8] J. Pérez and S. Tejedor, *Ideas para Aprender a Aprender*, 2015.
- [9] J. Faulin and A. A. Juan, “Aplicaciones de la programación lineal,” *Uoc*, pp. 1-18.
- [10] Corporación El Rosado, “Lista de Precios,” 2017. [Online]. Available: <https://www.elrosado.com/Home/ListPreComisariatoInterna>.
- [11] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Investigación de Operaciones*, McGraw-Hil. Mexico, 2015.
- [12] L. C. Sánchez and J. Herrera, “Solution to the Multiple Products Transportation Problem: Linear Programming Optimization With Excel Solver,” *Lat. Am. Trans.*, vol. 12, no. 2, pp. 1018-1023, 2016.
- [13] J. A. Boirivant, “La programación lineal aplicación de la pequeñas y medianas empresas,” *Rev. Reflexiones*, vol. 88, no. 1, 2009, pp. 1021-1209.
- [14] A. González Pareja, S. Calderón Montero, R. Hidalgo Sánchez, and C. Romero Más, “Matemáticas y nuevas tecnologías en la enseñanza universitaria,” *Departamento de Economía Aplicada (Matemáticas)*.
- [15] R. Benayoun, J. de Montgolfier, J. Tergny, and O. Laritchev, “Linear programming with multiple objective functions: Step method (stem),” *Math. Program.*, vol. 1, no. 1, 1971, pp. 366-375.

School retention and the motivational factor in university engineering students

La retención escolar y el factor motivacional en alumnos universitarios de ingeniería

A. Cedeño¹, P. González²

Abstract: *The aim of this work is to reflect on the school dropout and possible actions to develop to achieve higher levels of retention, taking into account the Electrical Engineering degree at the Polytechnic Salesiana University, Guayaquil. High rates of dropout and repetition are a serious problem that affects most education systems. In fact, the management of retention has occupied educational authorities and the scientific community in several countries, including managers and researchers in Ecuadorian universities. The research process responds to the question of How to contribute to the retention of school students, taking into account the importance of the motivational factor? Research from an interpretive perspective has focused its execution on the combination of eminently qualitative methods. We took into account the application of empirical methods such as participant observation, focused interview, surveys and document review. The bibliographic review contributes important elements in the debate on the causes of the school dropout, as well as it allows the approach to the modeling of a set of actions for the possible reduction of the negative incidence of the multiple incident factors, especially the motivation for the career Selected. The conclusions show the possibilities offered by a set of systematized actions, to contribute to reinforce the sense of belonging to the chosen career and with it increase the motivation and permanence in the university.*

Keywords: *dropout, engineering, motivation, university.*

Resumen: El objetivo de este trabajo se dirige a reflexionar sobre la deserción escolar y las posibles acciones a desarrollar para lograr mayores niveles de retención, tomando en cuenta la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil. Los altos índices de deserción y repetición es un serio problema que afecta a la mayoría de los sistemas educativos. De hecho, la gestión en torno a la retención ha ocupado a las autoridades educativas y a la comunidad científica en varios países, incluidas los directivos y los investigadores en las universidades ecuatorianas. El proceso investigativo responde a la interrogante: ¿Cómo contribuir a la retención escolar de los alumnos universitarios, teniendo en cuenta la importancia del factor motivacional? La investigación, desde la perspectiva interpretativa, ha centrado su ejecución en la combinación de métodos eminentemente cualitativos. Se tuvo en cuenta la aplicación de métodos empíricos como la observación participante, entrevista enfocada, encuestas y la revisión de documentos. La revisión bibliográfica aporta importantes elementos en el debate sobre las causas de la deserción escolar, así como posibilita el acercamiento a la modelación de un conjunto de acciones para la posible disminución de la incidencia negativa de los múltiples factores causantes, especialmente la motivación por la carrera seleccionada. Las conclusiones evidencian las posibilidades que ofrece un conjunto de acciones sistematizadas, para contribuir a reforzar el sentido de pertenencia hacia la carrera escogida y con ello incrementar la motivación y permanencia en la universidad.

Palabras clave: deserción escolar, ingeniería, motivación, universidad

-
- 1 Mgtr. Alicia María Cedeño Tello, Magíster en Literatura Infantil y Juvenil, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana. Sede Guayaquil, acedeno@ups.edu.ec
 - 2 Ph. D. Pedro Luis González Rivera, Doctor en Pedagogía, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana. Sede Guayaquil, pgonzalezr@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de abordar el serio problema relativo a los altos índices de deserción y repitencia, que afecta a la mayoría de los sistemas educativos en todo el mundo, plantea la urgencia del tratamiento sistematizado del tema en la búsqueda de las posibles soluciones. Se trata de un asunto extremadamente complejo y con múltiples causales desde el punto de vista educativo y didáctico [1].

Instituciones de carácter global como la UNESCO y encuentros internacionales de Educación, han reiterado la importancia de prestar atención preferente a la deserción escolar, que afecta a todos los niveles educativos, incluido la universidad. Precisamente el objetivo de este trabajo se dirige a reflexionar sobre la deserción escolar y las posibles acciones a desarrollar para lograr mayores niveles de retención. Se ha tenido en cuenta las acciones desarrolladas en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, sede Guayaquil.

Es perceptible que, aunque se ha manifestado la necesidad de trabajar en esta arista de la formación educativa, en la práctica los resultados siguen preocupando a las autoridades educacionales y a la comunidad científica universitaria en varios países. [2]. En particular, los directivos e investigadores en las uni-

versidades han planteado la urgencia de trabajar en esta dirección.

Por todo lo anterior, ha sido necesario un proceso investigativo que responda a la interrogante acerca de ¿Cómo contribuir a la retención escolar de los alumnos universitarios, teniendo en cuenta la importancia del factor motivacional?

La metodología de investigación que se ha utilizado en este trabajo, se ha concebido desde la perspectiva mixta que integra elementos cuantitativos y cualitativos. Se ha centrado la ejecución en la combinación de métodos teóricos como el análisis y la síntesis de las valoraciones de fuentes básicas para el estudio de la retención escolar, la deducción y la inducción de la situación particular en el área de estudio, así como el análisis comparativo. Igualmente se tuvo en cuenta la aplicación de métodos empíricos como la observación participante, entrevista enfocada, encuestas y la revisión de documentos.

Desde el ángulo metodológico se consideró oportuno observar los resultados en un caso determinado. Por ello se decidió comparar los resultados alcanzados en la retención en varios momentos, valorar la estrategia aplicada en la carrera de Electricidad y analizar los resultados para llegar a conclusiones.

2. DESARROLLO DEL TEMA

Desde la conformación de los sistemas escolares, los educadores destaca-

dos atribuyeron un papel esencial a la conformación de un sistema organizado

de influencias para producir cambios significativos en la personalidad de los individuos. Ese desafío se ha presentado como preocupación fundamental de los educadores a lo largo de la historia de la Educación.

Una figura tan destacada como Juan Amos Comenio, considerado el Padre de la Pedagogía, sugería ya desde el siglo XVII reconocer la importancia de las necesidades psicológicas del individuo que aprende, para asegurar la aprehensión del contenido de la enseñanza [3].

Se ha señalado la incidencia de la educabilidad en el proceso formativo del individuo que aprende. En ese sentido se considera que la educatividad es una condición básica que distingue al ser humano a partir de la racionalidad en los procesos de pensamiento lógico [4]. Ello conduce a valorar la incidencia de los factores humanos que asumen diversos roles dentro de la institución escolar en el proceso formativo del estudiante.

En la labor educacional se reconoce la responsabilidad de los directivos de los distintos niveles en la conducción de todos los procesos educativos, incluida la retención escolar. Ello incluye el trazado de estrategias que posibiliten la marcha adecuada de los procesos sustantivos como la docencia, la investigación y la vinculación con la sociedad. Igualmente, el docente ocupa un primer plano en la dirección del proceso educativo con los estudiantes, apoyándose en factores motivacionales.

La labor diferenciada y continua para evitar el fracaso escolar es tarea

esencial del educador, reconocido como la figura central en el proceso educativo que se realiza en las instituciones escolares de todos los niveles para contribuir a la formación de los estudiantes. El concepto de educador, docente, maestro o profesor tiene en cuenta a la persona que dirige el proceso docente educativo con los alumnos en el contexto áulico. Su rol ha sido considerado como fundamental por instituciones globales como la UNESCO, para lograr una educación de calidad [5].

Desde su carácter de eje transversal en la labor educativa, la retención escolar se presenta como uno de los principales retos que se asume la escuela como la institución social encargada de la formación de las nuevas generaciones. La gestión en torno a la retención escolar es considerada un proceso continuo e integrador para evitar el fracaso escolar de sus estudiantes. La incidencia de diversos factores en el fracaso escolar le otorga un carácter multifactorial al tema y exige el estudio sistematizado que permita diseñar acciones que conduzcan al éxito. para lograr la permanencia del estudiante en la institución escolar en todos los niveles [6].

Desde el punto de vista de la integración, se considera la deserción como una insuficiente unificación de los estudiantes con los ambientes intelectuales y sociales de la comunidad universitaria. Este modelo teórico tiene sus raíces en la teoría de anomia de Durkheim del individuo en el contexto social, económico, cultural y organizacional. Diversos autores han seguido esta corriente y

explican la deserción como el desequilibrio entre las necesidades del alumno y los elementos satisfactorios que este encuentra en el medio universitario, la discrepancia entre las expectativas y logros de los alumnos, el debilitamiento del compromiso y expectativas iniciales que tiene el estudiante con la comunidad institucional y el ámbito en general, así como el desajuste entre los tipos de personalidad y los tipos de ambiente [2].

Tanto autoridades como docentes pueden llevar a cabo diversas estrategias encaminadas a preservar el número de estudiantes en la institución escolar. Entre las estrategias se pueden resaltar las siguientes:

- Estrategias centradas en el ausentismo de los alumnos.
- Estrategias centradas en la sobreevaluación de los estudiantes.
- Estrategias de reformulación de los tiempos de instrucción.
- Estrategias centradas en la convivencia en las escuelas.
- Tutorías y otras acciones de orientación a los estudiantes.
- Estrategias orientadas a la compensación de aprendizajes.
- Estrategias para la reformulación didáctica de las clases presenciales.
- Estrategias centradas en la formación para el trabajo [6].

Un elemento fundamental para el éxito de las estrategias para lograr la retención escolar, tiene que ver con el factor motivacional. Precisamente la motivación [7], reconocida como la propiedad que mueve al individuo a realizar determinadas acciones, es el

resultado de múltiples variables biológicas, sociales y culturales.

Lo anterior se enlaza con los diversos puntos de vista sobre la deserción estudiantil en todos los niveles educativos. Se percibe que el nivel superior necesita de estudios más abarcadores que profundicen en las causas y posibles soluciones [8]. Sin embargo se le ha prestado menos atención al factor motivacional.

En particular, en Ecuador se ha planteado que el país necesita de profesionales ingenieros con capacidad transformadora, innovadores y creativos para cubrir las necesidades tecnológicas y sociales que se requieren actualmente. Estos profesionales deben tener una alta preparación científica, tecnológica y humana para ser verdaderos agentes de cambio, basados en principios éticos y morales que le permitan ser actores del desarrollo del país, la región y la industria, desempeñándose como servidores públicos y/o privados con alta eficiencia y sobre todo buscando ser gestores de sus propias empresas y, por ende, creadores de fuentes de trabajo. En ello resulta importante la motivación para obtener los resultados.

De esa manera, se ha señalado que la carrera de Ingeniería Eléctrica surge con el objetivo de formar profesionales que sean capaces de dar soluciones a la industria local y nacional en las áreas de mantenimiento, diseño, construcción, administración de sistemas eléctricos de baja y media tensión, así como sistemas de automatización y optimización de procesos de producción.

Todo lo anterior es el resultado de un conjunto de estrategias y acciones que apoyados en la motivación permita alcan-

zar los fines planteados, que por supuesto, deben tender a lograr la permanencia del educando en las aulas universitarias.

3. ALGUNAS ACCIONES DESARROLLADAS

En particular, la carrera de Ingeniería Eléctrica, desde el período 47 (octubre 2015-marzo 2016) hasta el período 49 (octubre 2016-marzo 2017), ha puesto en práctica un variado espectro de acciones dirigidas a fortalecer la motivación de los estudiantes por la carrera y de esa forma, evitar la deserción escolar.

Las diversas acciones se han concentrado principalmente en la labor educativa con los grupos que inician la carrera. En consecuencia desde el desarrollo del curso de ingreso se ha prestado especial atención en ubicar a profesores experimentados o que motiven el interés profesional de los estudiantes en proceso de inducción.

En ese marco se han desarrollado las denominadas Jornadas de Prácticas Abiertas, con la intención de reforzar la motivación de los alumnos hacia la carrera. En dichas jornadas los estudiantes aspirantes a ingresar en la universidad visitan cada uno de los laboratorios y los docentes encargados exponen una práctica. Con posterioridad los alumnos dan a conocer su testimonio motivador sobre la experiencia vivida, a partir de la guía orientada hacia el objetivo de que los estudiantes reflexionen sobre la labor que deben realizar para llegar a convertirse en profesionales.

Por su parte, la planificación de tutorías para los alumnos con mayo-

res insuficiencias en las estrategias de aprendizaje, ha constituido una importante actividad para lograr la permanencia de los estudiantes en la institución. Esas tutorías han favorecido el acercamiento a los estudiantes que presentan dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro de determinadas asignaturas. Ello ha permitido reforzar sus conocimientos con las actividades áulicas impartidas por otro docente o en algunos casos por el docente principal.

Igualmente, los estudiantes aspirantes a ingresar han tenido la oportunidad de asistir al primer curso de Bases Matemáticas, que organizó el Grupo de Investigación de Educación e Información Científica y la Dirección de Carrera de Ingeniería Eléctrica. El objetivo principal se ha dirigido a sistematizar los conocimientos básicos que deben servir de antecedentes a las asignaturas de Cálculo de una Variable y Álgebra Lineal. Esas asignaturas ubicadas en el primer nivel de la nueva malla curricular, han resultado las de mayor incidencia en la cantidad de alumnos desaprobados.

De igual manera, otras acciones desarrolladas han sido las visitas a las principales empresas del país vinculadas con la energía eléctrica y con las energías renovables. Ello ha permitido acercar a los estudiantes a la práctica de su futura labor profesional, a la vez que

ha facilitado que el estudiante se ponga en contacto con el proceso productivo que en un futuro llegará a realizar.

Una importante labor de motivación se ha desplegado desde la ejecución del Simposio científico metodológico a nivel de carrera [2]. Cada edición del evento ha propiciado el intercambio entre profesores, especialistas y estudiantes, en torno a líneas fundamentales del ejercicio de su profesión.

Así también, en la Dirección de la Carrera se ha aplicado un modelo de gestión, que ha partido de una concepción flexible, que combina los niveles de exigencia por el cumplimiento de los objetivos del trabajo docente educativo, con la creación de un clima laboral de intercambio de opiniones e iniciativas de los docentes. El ambiente favorable ha propiciado mayor disposición de los profesores desde las vertientes cognitiva y afectiva en el trabajo educativo con los estudiantes.

Otra de las acciones se han encaminado al buen uso de las Nuevas Tecnologías de la Información y Comunica-

ción (TIC's) en cada semestre, con la elaboración de un registro de todas las actividades que los docentes de la carrera comparten con sus estudiantes a través del Ambiente Virtual de Aprendizaje Colaborativo (AVAC).

Entre las actividades relativas al uso de las TIC, se incluyen el uso de las bases de datos, chat, consulta, cuestionario, encuestas, foros, glosario, herramienta externa, lecciones, talleres y tareas. También se comparten archivos, carpetas, etiquetas, libros con sus respectivos permisos y demás documentos que apoyen al estudiante en el proceso de enseñanza aprendizaje.

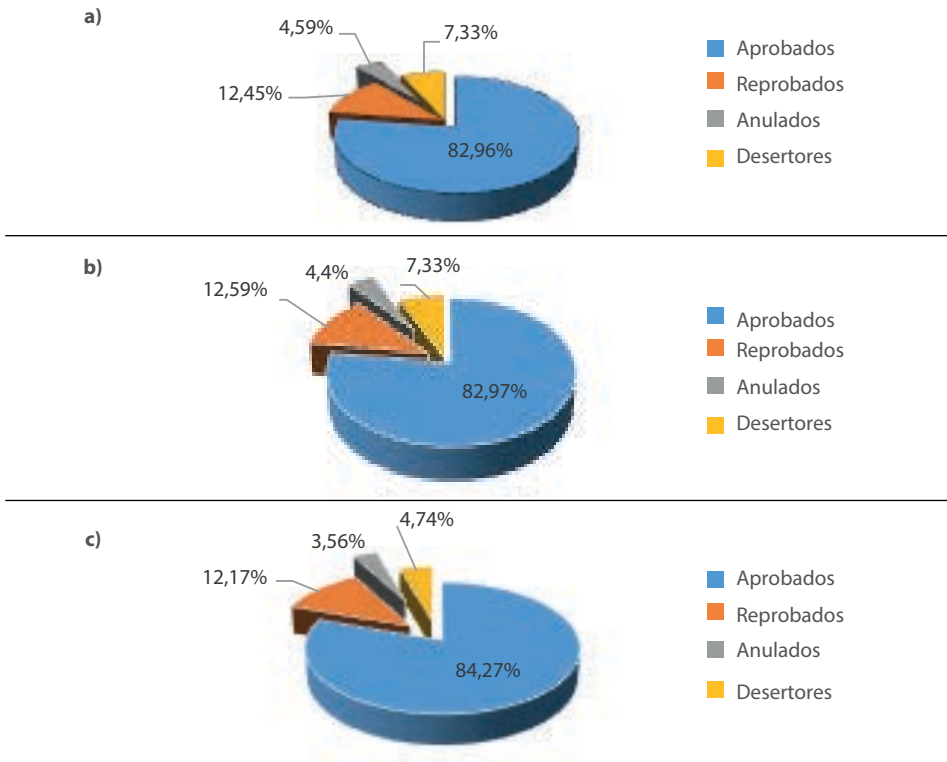
Los resultados del conjunto de acciones desarrolladas se expresan en el incremento de los niveles de motivación entre los estudiantes. Como se muestra en las tablas y gráficos 1, 2, 3 el índice de deserción ha descendido en un 2%, en el período 47 y 48 se mantuvo en un 4% y en el período 49 se ubicó en un 2% gracias a las acciones que docentes y autoridades han llevado adelante.

4. RESULTADOS

La Figura 1 presenta el porcentaje de estudiantes aprobados, reprobados, anulados y los casos de deserción entre los períodos 2015-2016 (47), 2016-2016 (48) y 2016-2017 (49), los mismos que se han dado después de poner en práctica cada una de las acciones detalladas con anterioridad.

Como puede observarse de forma evidente en la Figura 1, las estrategias implementadas en la carrera han permitido que aumente el porcentaje de estudiantes aprobados de un período a otro de forma sistemática a la vez que han disminuido la cantidad de estudiantes que desertan, anulan asignaturas o reprueban.

Figura 1. Estudiantes aprobados, reprobados, anulados y desertores durante los períodos a) 47, b) 48 y c) 49



Fuente: Autores

5. CONCLUSIONES

El grave problema relativo a los altos índices de deserción y repitencia, que se manifiesta en la mayoría de los sistemas educativos a nivel mundial, es un asunto complejo y con diversas causas desde el ángulo educativo, incluido el factor motivacional.

En este trabajo queda evidenciado que si se crea el ambiente educativo propicio para la permanencia del educando, se puede contribuir a evitar la

frustración en los resultados del aprendizaje.

El amplio espectro de acciones que se han puesto en práctica en la carrera de Ingeniería Eléctrica, ha contribuido a iniciar el camino para fortalecer la motivación de los estudiantes por la carrera y de esa forma, evitar la deserción escolar. El factor motivacional es un elemento fundamental para evitar el fracaso escolar.

REFERENCIAS

- [1] P.L. González Rivera, D. Hernández Rodríguez, *Capacitación Profesional y Didáctica Universitaria/ INNOVA Research Journal 2016, Vol 1, No. 11, 30-41. ISSN 2477-9024 (UIDE)*, 2016. <http://www.journaluidegye.com/magazine/index.php/innova/article/view/60/101>. [Accessed: 2- enero 2017]
- [2] M.G. Vázquez. *Deserción estudiantil en el nivel superior, causas y solución*. México: Trillas. 2008.
- [3] J.A. Comenio. *Didáctica Magna*. Editorial Porrúa, Av. República Argentina, 15 México, 1998. <http://confedec.org/index.php/documentos/libros/581-didacticamagna/file> [Accessed: 6-enero 2017]
- [4] R. Nassif. *Pedagogía general*. Buenos Aires: Editorial Kapelusz, 1958.
- [5] UNESCO: *Foro Mundial sobre la Educación 2015*. 19-22 de mayo de 2015, Incheon, República de Corea. <http://es.unesco.org/world-education-forum-2015/>[Accessed: 3-marzo2016]
- [6] Grimozzi, Sergio. *Fracaso escolar: ¿Por qué se quedan los que se quedan?* Buenos Aires: Bonum, 2011.
- [7] Chóliz. *Psicología de la Motivación: el proceso motivacional*, 2004. <http://www.uv.es/~choliz> [Accessed: febrero 2017];
- [8] Naranjo Pereira, M.L. *Motivación: perspectivas teóricas y algunas consideraciones de su importancia en el ámbito educativo*. Revista Educación 33(2), 153-170, ISSN: 0379-7082, 2009.

**SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
PARA EL AMBIENTE**

Urban agriculture and contamination by lead, bacteria and CO₂ at UPS Cuenca

Agricultura urbana y la contaminación por plomo, bacterias y CO₂ en la UPS Cuenca

F. Portilla¹, J. Galarza²

Abstract: Four types of vegetables were studied: cabbage (*Brassica viridis*), broccoli (*Brassica oleracea Italica*), leaf lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) and cabbage lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*), through system of Urban Agriculture at terrace level and ground at UPS, Cuenca-Ecuador. The main objective of this study was to determine the Pb concentration, the recount of *E. coli*/coliforms and the absorption of CO₂ in the mentioned species of vegetables. The applied methodology for the Pb concentration analysis was the atomic absorption (graphite furnace technique); the recount of *E. coli*/coliforms through petrifilm layers technique, and the statistical analysis between samples was carried out through the non-parametric test U of Mann-Whitney. It was found that the concentrations of Pb overtake the established limits in the European Normative (0.30 mg/kg); the concentration of *E. coli* is null and the coliforms are at the allowed limits in the current normative (10-10²) UFC/g. The absorption of CO₂ was determined by the size of the crops, being the lettuce the one with the biggest capacity to absorb CO₂. When applying the non-parametric test to terrace level and ground, the Pb presented similar concentrations; meanwhile the coliform concentration and the absorption of CO₂ were different. Therefore, regarding the Pb case, the null hypothesis is accepted (H_0), and the alternative hypothesis is rejected (H_1); and with regards to the CO₂ and coliforms the (H_0) is rejected, and the (H_1) is accepted.

Keywords: urban agriculture, concentration, lead.

Resumen: Se estudiaron cuatro tipos de hortalizas: col (*Brassica viridis*), brócoli (*Brassica oleracea Italica*), lechuga de hoja (*Lactuca sativa* var. *crispa*) y lechuga de repollo (*Lactuca sativa* var. *capitata*), a través de un sistema de Agricultura Urbana a nivel de terrazas y suelo en la UPS Cuenca, Ecuador. El objetivo fue determinar la concentración de Pb, el recuento de *E. coli*/coliformes y la captura de CO₂ en las especies de hortalizas mencionadas. La metodología aplicada para el análisis de la concentración de Pb fue el de absorción atómica (técnica horno de grafito), el recuento de *E. coli*/coliformes mediante la técnica de placas petrifilm y el análisis estadístico entre muestras se llevó a cabo mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Se encontró que las concentraciones de Pb sobrepasan los límites establecidos en la Normativa Europea (0.30 mg/kg); la concentración de *E. coli* es nulo y de coliformes está dentro de los niveles permitidos en la normativa vigente (10- 10²) UFC/g, mientras que la captura de CO₂ estuvo determinada por el tamaño del cultivo, siendo la lechuga de repollo la de mayor capacidad para capturar CO₂. Al aplicar la prueba no paramétrica a nivel de terraza y suelo, el Pb presentó concentraciones similares, mientras que la concentración de Coliformes y la captura de CO₂ fueron diferentes, por lo tanto en el caso del Pb se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H_1) y en el caso del CO₂ y coliformes se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Palabras clave: agricultura urbana, concentración, plomo.

1 Fredi Leonidas Portilla Farfán, Docente Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, fportilla@ups.edu.ec

2 Jose Luis Galarza Rodriguez, Estudiante Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, jgalarzar@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

La presencia de contaminantes en cantidades mayores a las recomendadas en cualquiera de los componentes ambientales (aire, agua, suelo) pueden causar efectos nocivos en la población que interactúa con estos. [1] Esta contaminación es consecuencia de las actividades humanas que se desarrollan a diario, particularmente de actividades agrícolas, industriales entre otras, [2] además se debe sumar la contaminación que proviene del transporte, pues este sector es el mayor consumidor de combustibles fósiles y que por lo tanto es la principal fuente de emisiones contaminantes y de Gases de Efecto Invernadero (GEI). [3]

De acuerdo al lugar donde se planten los cultivos, la Agricultura Urbana (AU) también se utiliza como alternativa para la mitigación de la contaminación del aire urbano, debido a la

capacidad de absorción que tienen las plantas, sería determinante para la bioacumulación de contaminantes. [4] Por ejemplo, en los suelos de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) sede Cuenca se encontraron concentraciones de Plomo (Pb) mayores a las permitidas por la normativa en este caso tiene una alta influencia el tránsito vehicular. [5]

Por lo tanto, es importante avanzar en el estudio de líneas base de referencia y en el conocimiento de la concentración de contaminantes en el aire, para establecer regulaciones adecuadas que permitan avances en la protección del ambiente y la salud humana. La presente investigación tiene como finalidad optimizar la AU, analizando la capacidad de absorción de Pb, bacterias y Carbono. De esta manera el proyecto se convertirá en una herramienta que beneficie a la absorción de contaminantes en la UPS.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

La UPS cuenta con varias terrazas y jardines; estos fueron aprovechados para practicar AU, en donde se implementó la siembra de hortalizas. Las plantas sembradas fueron col (*Brassica viridis*), brócoli (*Brassica oleracea Italica*), lechuga de hoja (*Lactuca sativa var. crispata*) y lechuga de repollo (*Lactuca sativa var. capitata*).

2.2 Muestreo de hortalizas

Para el estudio de la concentración de plomo, recuento de *E. coli*/Coliformes y la captura de CO₂, se sembró las hortalizas antes mencionadas con sustrato solo de humus a nivel de terrazas y a nivel de suelo la siembra fue con una mezcla de humus sobre la tierra franca preexistente. Se tomaron muestras en los 2 sitios de la UPS; el primero a nivel de terrazas (terrazza de Pastoral UPS) a 10

metros de altura y el segundo a nivel terrestre (jardín del parqueadero UPS). En total se tomaron 12 muestras a nivel de terrazas y 8 a nivel de suelo, las cuales fueron almacenadas en fundas estériles herméticas para su posterior tratamiento y análisis en laboratorio de la UPS.

2.2.1 Determinación de la concentración de Pb

La preparación de la muestra fue realizada mediante el siguiente procedimiento: Se realizó un secado de 30 gramos (g) de cada muestra, las cuales recibieron un tratamiento de secado a 60 °C durante 7 días. Luego se pulverizó la muestra y se mezcló 1 g del producto pulverizado con 4 ml de HNO₃. El siguiente paso fue evaporar la mezcla a 600 °C durante 4 horas, la ceniza resultante se mezcló con 4 ml de HNO₃ y se evaporó con un mechero. Se mezcló nuevamente, el sólido resultante con 1 ml de HNO₃. Este producto fue evaporado y condensado a 130 °C durante 3 horas utilizando tubos digestores. Las muestras resultantes se aforaron en HNO₃ al 2 % en un balón de aforo de 10 ml y luego se almacenó a 4 °C en tubos de ensayo. Finalmente, se tomó 2 ml de la solución preparada de cada muestra y se transfirió a tubos eppendorf para la determinación de Pb mediante absorción atómica (técnica horno de grafito). [6].

2.2.2 Análisis microbiológico

La preparación de la muestra se realizó mezclando con la ayuda de una licuadora 225 ml de agua de peptona al 0.1 % con 25 gramos de cada muestra hasta lle-

gar a una completa homogenización. A la solución resultante se realizó una inoculación colocando en placas petrifilm previamente etiquetadas en una superficie plana y nivelada para proceder a levantar la lámina superior de la placa y con la ayuda de una pipeta electrónica se colocó 1 ml de la muestra en el centro de la lámina inferior. Luego para poder lograr una adecuada dispersión de la muestra se colocó la lámina superior cuidadosamente para evitar que se atrapen burbujas de aire y se colocó el dispersor sobre la muestra para que el inóculo se distribuya por toda el área. Finalmente una vez que el gel se solidificó procedimos a la incubación de la muestra en una estufa a 37 °C por 24 horas para coliformes y 48 horas para *E. coli*, para proceder a leer los resultados en un contador de colonias estándar. Luego de este proceso realizamos los respectivos cálculos poder interpretar los resultados y calcular el número de UFC/g se aplicó la ecuación 1. [7]

$$N = \sum C \cdot f = UFC/g \quad (1)$$

N: Número UFC por gramo.

ΣC: Suma de las colonias contadas en las placas.

f: factor de dilución utilizado. f=10

2.2.3 Captura de CO₂ por las hortalizas

Para calcular la cantidad de CO₂ primero tenemos que calcular la cantidad de carbono secuestrado por las hortalizas sembradas en el sitio de estudio y se recurrió a la siguiente técnica. Se inició con la preparación de la técnica cosechando las hortalizas (incluida la raíz) de todas las muestras y se pesó, este peso equiva-

le al peso fresco de la muestra; luego se tomó una submuestra de 20 gramos, esto equivale al peso fresco de la submuestra. Posteriormente se secó en la estufa a una temperatura de 60 °C por 24 horas hasta alcanzar un peso constante, esto equivale al peso seco de la submuestra y luego se procede al cálculo de la biomasa aplicando la ecuación 2. [8]

$$B = \frac{PFs}{PSS} \cdot PFm \quad (2)$$

B: Biomasa t/ha, kg/ha

PFs: Peso fresco de la submuestra Kg

PSS: Peso Seco de la submuestra Kg

PFm: Peso fresco de la muestra Kg

Posteriormente para hallar la cantidad de carbono se procede a multiplicar la biomasa por 0.5 como indica el grupo IPCC, el cual propone que cerca del 50% de la biomasa vegetal corresponde a la cantidad de carbono para este proceso aplicamos la ecuación 3. [8]

$$CC = B \cdot CF \quad (3)$$

CC: Contenido de carbono en la muestra de la vegetación no arbórea kgC/bloque.

CF: Fracción de Carbono = 0.5

Y finalmente el cálculo de la cantidad de CO₂ secuestrado, según el IPCC se estima que 1 tonelada de C es igual a 3.67 toneladas de CO₂ y para poder de-

terminar la cantidad de CO₂ secuestrado procedemos a utilizar la ecuación 4. [9]

$$CO_2 = Kr \cdot CC \quad (4)$$

CO₂: Dióxido de carbono

CC: Cantidad de carbono

Kr: Factor de conversión 3.67

2.2.4 Análisis estadístico

Para realizar la comparación de los resultados obtenidos a nivel de terrazas y a nivel del suelo, los datos registrados se sometieron a un análisis con la prueba estadística U de Mann-Whitney ya que los datos no siguen una distribución normal. Para esto utilizamos un contraste de hipótesis para pruebas no paramétricas ya que se pueden usar cuando dos series de observaciones provienen de distintas poblaciones, en este caso es la única alternativa ya que el tamaño de nuestras muestras es pequeño (inferior a 30 casos) y tenemos dos muestras con datos independientes. [10] Las hipótesis que se han planteado son la nula (H₀) y la alternativa (H₁). H₀: μ a nivel de suelo = μ a nivel de terrazas, cuando valor de p-valor > 0,05 (nivel de significancia) y la H₁: μ a nivel de suelo \neq μ a nivel de terrazas, cuando de p-valor < 0,05.

Los análisis estadísticos se realizaron en el programa SPSS Statistics 23.

3. RESULTADOS

De todos los análisis realizados a nivel de terrazas y a nivel del suelo encontramos

los siguientes resultados los cuales presentamos a continuación en la tabla 1 y 2.

Tabla 1. Concentración de Pb, recuento de *E.coli*/Coliformes y Captura de CO₂ de los cultivos a nivel de terrazas

Cultivo	Concentración de Plomo (mg/kg)	Recuento de <i>E. Coli</i> (UFC/g)	Recuento de Coliformes (UFC/g)	Captura de CO ₂ (Tn)
Col híbrida	5	0	0	0,00257
	3,67	0	0	0,00264
	3,67	0	0	0,00212
Brócoli	6,33	0	20	0,00233
	6,33	0	30	0,00259
	5,33	0	0	0,00268
Lechuga de hoja	3	0	0	0,01559
	3	0	20	0,01145
	2,33	0	20	0,01445
Lechuga de repollo	1	0	30	0,01295
	1	0	60	0,01769
	0,4	0	150	0,01574

Fuente: Autor

De los análisis estadísticos realizados, para la comparación de los datos obtenidos de: Pb, *E. coli*/Coliformes

y CO₂ a nivel de terrazas y a nivel de suelo podemos ver en las figuras 1, 2 y 3.

4. DISCUSIÓN

4.1 Concentración de plomo

Los límites establecidos por la Normativa Europea dice que la concentración máxima de Pb en Hortalizas de género Brassica y hortalizas de hoja son de 0.30 mg/kg. [11]

En las tablas 1 y 2, se muestran las concentraciones de plomo a nivel de

terrazas y de suelo, las más altas son de 6.33 mg/kg y 5 mg/kg respectivamente y las más bajas son de 0.4 mg/kg y 3 mg/kg, valores superiores a los encontrados por Fernández (2016) en una investigación realizada a nivel de suelo en la UPS sede Cuenca siendo la concentración más alta 1,2 mg/kg.

Tabla 2. Concentración de Pb, recuento de *E.coli*/Coliformes y Captura de CO₂ de los cultivos a nivel del suelo

Cultivo	Concentración de Plomo (mg/kg)	Recuento de <i>E. Coli</i> (UFC/g)	Recuento de Coliformes (UFC/g)	Captura de CO ₂ (Tn)
Col híbrida	3,66	0	620	0,131
	3,66	0	130	0,07256
Brócoli	5	0	0	0,06382
	3.7	0	400	0,05281

Lechuga de hoja	3,66	0	250	0,23258
	3,66	0	30	0,04587
Lechuga de repollo	3,1	0	310	0,20003
	3	0	430	0,01144

Fuente: Autor

Tabla 3. Comparación de la concentración de Pb en las hortalizas a nivel de terrazas y a nivel de suelo a través de la prueba U de Mann-Whitney

	Plomo
U de Mann-Whitney	44.500
Sig. Asintótica (bilateral)	0.786

Fuente: Autor, extraído de SPSS Statistics 23

Tabla 4. Comparación del recuento de Coliformes en las hortalizas a nivel de terrazas y a nivel de suelo a través de la prueba U de Mann-Whitney

	Coliformes
U de Mann-Whitney	13.500
Sig. Asintótica (bilateral)	0.007

Fuente: Autor, extraído de SPSS Statistics 23

Tabla 5. Comparación de la captura de CO₂ en las hortalizas a nivel de terrazas y a nivel de suelo a través de la prueba U de Mann-Whitney

	CO ₂
U de Mann-Whitney	13.500
Sig. Asintótica (bilateral)	0.007

Fuente: Autor, extraído de SPSS Statistics 23

Tanto a nivel de terrazas como de suelo, las concentraciones de plomo se presentan en orden descendente siendo el más alto en el brócoli, luego en la col, lechuga de hoja y finalmente en la lechuga de repollo.

El plomo encontrado en las hortalizas sembradas dentro de la UPS sede Cuenca en cantidades mayores a las permitidas, se debe a 2 razones:

Primera: El plomo tiene un tiempo de permanencia en el ambiente de 15 a

20 años, por lo tanto aún deben existir remanentes de este metal ya que fue usado como aditivo de la gasolina [12].

Segunda: Las hortalizas con alta concentración de plomo y que fueron cultivadas en la zona de parqueo de automotores de la UPS (suelo), tales automotores se ubicaban con los escapes dirigidos hacia la zona de siembra y por lo tanto están emanando directamente aditivos de gasolina a la zona de estudio.

4.2 Recuento de *E.coli*/ Coliformes totales

Dentro de la Normativa de Recopilación Internacional de Normas Microbiológicas de los Alimentos, los criterios microbiológicos para verduras y hortalizas establecidos son los siguientes: *E. coli* (10^2 - 10^4) UFC/g y Coliformes Totales (10 - 10^2) UFC/g. [13]

En las tablas 1 y 2 se evidencia la no existencia de *E. coli* en ninguna de las hortalizas tanto a nivel de terrazas como en el suelo; el recuento de coliformes a nivel de terrazas, el más alto es de 150 UFC/g que corresponde a la lechuga de repollo y a nivel del suelo la especie que más coliformes ha presentado, es la col con un valor de 620 UFC/g, valores que son menores comparados con el estudio realizado a nivel de suelo por Alvarado (2016) que presenta 3.4×10^3 UFC/g y 9.7×10^3 UFC/g, [14] para las concentraciones más baja y más alta respectivamente. La presencia de coliformes en las hortalizas se debe a una mala degradación del sustrato; en esta investigación se encontró mayores cantidades a nivel del suelo que a nivel de terrazas ya que en el suelo es una mezcla de humus y de tierra preexistente y en la terraza es solo humus.

4.3 Captura de CO₂

De acuerdo a la tabla 1 y 2 la captura del CO₂, es mayor a nivel del suelo que a nivel de terrazas, debido a que las plantas se desarrollaron más en el suelo y por tener una mayor masa vegetal absorben más cantidad de carbono. La

especie que más CO₂ capturó tanto a nivel de terrazas como a nivel de suelo fue la lechuga de repollo, con cantidades de 0.31443 toneladas (tn) y 0.04638 tn respectivamente. Esto indica que ambientalmente se debe sembrar lechuga de repollo para la captura de CO₂.

De todas las hortalizas cultivadas en la terraza se capturó un total de 0.1028 tn y 0.8101 tn a nivel de suelo, ya que al tener una mayor masa vegetal absorbe más carbono lo que se confirma con el estudio realizado a nivel de suelo por Fernández (2016) capturando un total de 2.70 tn.

4.4 Comparación a nivel de suelo y a nivel de terrazas

Por otra parte se realizó la prueba estadística U de Mann-Whitney para comparar los resultados obtenidos a nivel de terraza y suelo, mediante esta prueba no paramétrica como podemos ver en la tabla 3 se obtiene para la concentración de plomo un p-valor de 0.786 es decir mayor al nivel de significancia (0.05) por lo tanto el nivel de concentración plomo es similar tanto en el suelo como en las terrazas; Para recuento de coliformes se observa en la tabla 4 que el p-valor es de 0.007, menor al 5%; entonces el recuento de coliformes tiene una diferencia significativa a nivel del suelo que a nivel de la terraza; en cuanto a la captura de CO₂ tenemos se aprecia en la tabla 5 un p-valor igual a 0, menor al 5%, es decir la captura de CO₂ es diferente de una forma significativa a nivel del suelo que en la terraza.

5. CONCLUSIONES

Las concentraciones de plomo tanto a nivel del suelo (3 – 5) mg/kg como de terrazas (0.4 - 6.33) mg/kg; sobrepasan los límites permitidos por la Normativa Europea (0.30 mg/kg) para hortalizas de género Brassica y hortalizas de hoja.

El grado de concentración para *E. coli* es nulo y para coliformes son de 150 UFC/g y 620 UFC/g a nivel de terrazas y de suelo respectivamente; es decir todas las especies están dentro de los criterios microbiológicos para verduras y hortalizas establecidos por la normativa de recopilación internacional de alimentos ($10 \cdot 10^2$) UFC/g. por lo tanto las hortalizas están libres de contaminación microbiológica.

La captura de CO_2 del total de las hortalizas cultivadas fue de 0.09129 kg/ha, en consecuencia estas hortalizas sirven para hacer frente al efecto inverna-

dero evitando que este gas se emita a la atmosfera.

Al realizar el análisis estadístico se dice que la captura de CO_2 es diferente a nivel de terrazas que a nivel del suelo debido a la diferencia en la masa vegetal; el recuento de coliformes es distinto debido al sustrato utilizado para la siembra y la concentración de plomo es similar en ambos lugares debido a que este metal está presente en porcentajes semejantes en las zonas de estudio, por lo tanto en el caso del Pb se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H_1) y en el caso del CO_2 y coliformes al tener diferentes concentraciones rechazamos H_0 y aceptamos H_1 . Se debe realizar un monitoreo de la concentración de Pb en las zonas con más alto tráfico vehicular considerando el riesgo de entrada de plomo en la cadena alimentaria

REFERENCIAS

- [1] M. Cervera, “*Investigación de contaminantes Orgánicos Volátiles y semivolátiles en agua y vegetales mediante cromatografía de gases espectrometría de masas (Triple cuádrupulo y tiempo de vuelo)*”, Tesis Doctoral, Departamento de Química Física y Analítica, Universidad Jaume I, Castellón, España, 2015.
- [2] S. Llivisaca, F. Burgos, J. Vargas, “*Caracterización de Bacterias Metalofijadoras de Mercurio, A través de la Subunidad 16SMA, Mediante la Técnica de PCR-DGGE del Río Gala (Aguas Abajo en el Recinto San Rafael) en la Parroquia Tenguel*”, Tesis de Grado, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2011.
- [3] OMS Organización Mundial de la Salud, Estándar OMS, 2017.
- [4] A.N. Ganeshamurthy, L.R. Varalakshmi, H.L. Sumangala, “Environmental Risks Associated with Heavy Metal Contamination in Soil, Water and Plants in Urban and Periurban Agriculture”, *Journal of Horticultural Sciences*, vol. 3, Junio, 2008, pp. 1-29.
- [5] J. Fernández, “*Agricultura Urbana y su Aporte Contra el Efecto Invernadero en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*”, Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2016.

- [6] M. Ali, K. Al-Qahtani, "Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets", *ELSEVIER*, vol. 1, Noviembre, 2012, pp. 31-37.
- [7] Vélez, J. Ortega, "*Determinación de Coliformes Totales y E. Coli en Muestras de Lechuga Expendidas en Cuatro Mercados de la Ciudad de Cuenca*", Tesis de Grado, Departamento Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2013.
- [8] O. Osinaga, S. Báez, F. Cuesta, A. Malizia, J. Carrilla, N. Aguirre, L. Malizia, 2014. *Monitoreo de Diversidad Vegetal y Carbono en Bosques Andinos-Protocolo Extendido*. Protocolo 2 - Versión 1. CONDESAN, IER-UNT, COSUDE. Quito, Ecuador.
- [9] Landeta, "*Producción de Biomasa y fijación de carbono en plantaciones de teca (Tectona grandis linn f.) en la ESPOL campus*"ing. Gustavo Galindo", Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Universidad ESPE, Guayaquil, Ecuador, 2009.
- [10] Douglas A. Lind, William G. Marchal, Samuel A. Wathen, *Estadística Aplicada a los negocios y a la Economía*, 15 Ed, México: Mexicana, 2012, pp. 649-702.
- [11] Metales Pesados, *Union Europea. Contenidos Máximos en Metales Pesados En Productos Alimenticios*, Fecha de Acceso: 22/03/2017, <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>.
- [12] P. Noriega, A. Medici, A. Murillo, J Bedón, F Haro, G. Galecio, "Estudio de la concentración de cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quito, empleando briofitas como biomonitores", *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, vol. 8, Julio, 2008, pp. 17-24.
- [13] B. De Pablo, M. Moragas, *Normas Microbiológicas de los alimentos*, Fecha de Acceso: 01/01/2016, http://www.higieneambiental.com/sites/default/files/images/pdf/normas_microbiologicas_de_alimentos_2016_.pdf.
- [14] J. Alvarado, "*Agricultura Urbana en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca y su aporte al Cambio Climático*", Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2016.

Evaluation of the carbon print of a university for the energy efficiency policy

Evaluación de la huella de carbono de una universidad para la política de eficiencia energética

N. Mendieta¹

Abstract: *Climate change is a problem manifested by the increase in temperature on the planet caused by the emission of greenhouse gases (GHG) and through the measurement of the carbon footprint an inventory can be made to reduce these Emissions. In this context, this research determined the carbon footprint of the Salesian Polytechnic University (UPS), Guayaquil, in 2016, obtaining the value of 1.630,196 t CO₂e, its calculation was carried out to determine the value of GHG emissions which generates the institution by its activity and contribute with new initiatives in the energy efficiency policy. Estimates for scopes 1, 2 and 3 were set out for direct, indirect, product and service emissions acquired following the Greenhouse Gas Protocol (GHG) procedure of the World Business Council for Sustainable Development, WBCSD) and by the World Resources Institute (WRI). Finally, through this evaluation, recommendations were made that prioritize the reduction of the consumption of energy, resources and materials to have a greater contribution of the university with the reduction of GHG.*

Keywords: *climate change; greenhouse gas emissions (GHG); carbon footprint.*

Resumen: El cambio climático es una problemática que se manifiesta con el aumento de temperatura en el planeta, causado por la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y a través de la medición de la huella de carbono se puede realizar un inventario para reducir estas emisiones. En este contexto, esta investigación determinó la huella de carbono de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), sede Guayaquil, del año 2016, obteniendo el valor de 1.630,196 t CO₂e. Su cálculo se efectuó para conocer el valor de las emisiones GEI que genera la institución por su actividad y contribuir con nuevas iniciativas en la política de eficiencia energética. Se expusieron las estimaciones para los alcances 1, 2 y 3 por emisiones directas, indirectas, productos y servicios adquiridos siguiendo el procedimiento del Protocolo de Gases Efecto Invernadero (Protocolo GEI) del Consejo Mundial de Negocios por el Desarrollo Sustentable (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD) y por el Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute, WRI). Finalmente, a través de esta evaluación se elaboraron recomendaciones que priorizan la disminución del consumo de energía, recursos y materiales para tener una mayor contribución de la universidad con la reducción de GEI.

Palabras clave: cambio climático, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), huella de carbono.

1 Nadia Mercedes Mendieta Villalba, Magíster en Seguridad Marítima, Ingeniera Naval, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador, nmendieta@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

La huella de carbono puede definirse como “la cantidad de gases efecto invernadero emitidos a la atmósfera, derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios, y se ha transformado en un patrón de competitividad” [1]. La huella de carbono también es una medida para cuantificar y generar un indicador del impacto que una actividad o proceso tiene sobre el cambio climático [2].

Un factor incidente en el cambio climático es la energía, puesto que al producir y consumir electricidad, gasolina, diésel, gas y carbón, lanzamos a la atmósfera gases de efecto invernadero, en especial dióxido de carbono, que es un gas que atrapa el calor del sol y hace que aumente la temperatura en nuestro mundo [3]. Otros factores que inciden son la descomposición de los basureros y la crianza de animales, lo que genera millones de toneladas de gas metano, al igual que el uso de fertilizantes, que producen óxido nítrico. Además, influyen en el incremento, la destrucción de los bosques y el cambio en el uso del suelo [4].

Las normativas más relevantes para determinar la huella de carbono son: el Protocolo de Gases Efecto Invernadero (Protocolo GEI), que fue implementado por el Consejo Mundial de Negocios por el Desarrollo Sustentable (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD) y por el Instituto de Recursos Mundiales (World Resources

Institute, WRI), que es uno de los más utilizados a escala internacional para cuantificar y gestionar las emisiones de GEI [5]; la metodología Balance de Carbono, conocida como Bilan Carbone (BC, 2011) que fue desarrollada por la Agencia del Medio Ambiente y Energía de Francia (ADEM-E) [6] y el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) ha sido elaborado por Doménech y otros colaboradores [7].

Cabe anotar que la determinación de la huella de carbono en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, se deriva del interés de contribuir con la lucha contra el cambio climático. La investigación se enfoca en la medición de la totalidad de emisiones GEI emitidas por efecto directo, indirecto y de los productos y servicios adquiridos, provenientes del desarrollo de la actividad educativa de la UPS de Guayaquil, siguiendo el procedimiento del Protocolo GEI, lo que permite tener un punto de referencia para identificar las fuentes de emisiones de GEI en la universidad y establecer recomendaciones que involucren las medidas de reducción efectivas de emisiones de CO₂.

Finalmente, para contrastar los resultados de este estudio, se compara el cálculo actual de la UPS sede Guayaquil con estimaciones de otras universidades, como el de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito [8] y la Universidad Tecnológica Equinoccial de Quito, en la facultad de Ciencias de la Ingeniería [9].

2. EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Entre las evidencias del cambio climático en el mundo se tiene que la temperatura superficial de la Tierra ha aumentado en más de 0.8°C (1.4°F) en los últimos 100 años. Además, los periodos fríos son hoy en día más cortos y suaves, las capas de hielo y nieve están disminuyendo en el hemisferio norte, los glaciares y casquetes polares se están derritiendo y existe el desplazamiento de especies de plantas y animales a latitudes más frescas o a mayores altitudes [10].

En América Latina, el aumento del nivel del mar afecta a poblaciones que viven en las costas de los océanos Pacífico y Atlántico y tienen mayor riesgo en las islas. El incremento en la temperatura del mar perjudica a la pesca y a los arrecifes de coral y a actividades de las comunidades (p.ej. el turismo) [4]. En el Ecuador, se experimentan eventos como el peligro de extinción de los pingüinos de las islas Galápagos y el deshielo del volcán Cotopaxi, cuya extensión glacial se ha visto reducida en un 45% en los últimos 50 años [11].

3. MARCO LEGAL PARA EFECTO INVERNADERO EN ECUADOR

Ecuador en los últimos años ha firmado y ratificado acuerdos internacionales destinados a la protección ambiental tales como el Protocolo de Kyoto. A través del Decreto N° 548, el presidente Rafael Correa Delgado ratificó la Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto que fue promulgada el 8 de diciembre de 2012 en la ciudad de Doha, Catar, en el marco de la Décimo Octava Conferencia de los Estados Parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP 18) [12]. Posteriormente, el 26 de julio de 2016, Ecuador suscribió el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, con este hecho, se suma a los 175 países del mundo que han firmado este Acuerdo [13]. El objetivo del Acuerdo de París es mantener el aumento de la

temperatura en este siglo por debajo de los 2 grados centígrados [14].

Por un lado, la propia Constitución ecuatoriana resalta el cuidado hacia el medioambiente. De la Sección Segunda, Ambiente Sano, Art. 14.- “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados” [15].

Por otro lado, el Gobierno ecuatoriano promueve políticas de eficiencia energética relacionadas a la racionaliza-

ción del consumo de energía. Del Plan Nacional para el Buen Vivir, Objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global, se tiene el artículo 7.10: “Implementar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático para reducir la vulnerabilidad económi-

ca y ambiental con énfasis en grupos de atención prioritaria” [16]. También, se cuenta con el Decreto Ejecutivo 1815 para la Mitigación del cambio climático y la adaptación a sus efectos [17] y con el Decreto Ejecutivo 495 para el Comité Interinstitucional de Cambio Climático (CICC) [18].

4. INVENTARIO DE EMISIONES DE CO₂

Según el Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono, División de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge en Tennessee, Estados Unidos, las emisiones de CO₂ en el mundo en el año 2013 fueron de 35'848.592 Kilotoneladas [19].

En nuestro país el total nacional de emisiones y remociones fue de 410 millones de toneladas de dióxido de carbono en el año 2006, de acuerdo al Ministerio del Medio Ambiente, siendo el sector agrícola el que más aporta, seguido por el cambio de uso de suelo y la silvicultura. Ante esta cifra, el Gobierno ecuatoriano en el año 2011 mejoró el octanaje de la gasolina para contribuir

con la reducción de las emisiones y mejorar la calidad del aire urbano. También, desde el 2006, fueron implementados en el Ecuador veintiún proyectos de mecanismo de desarrollo limpio, con lo que se logró disminuir 1'217.157 t CO₂ emitidas al atmósfera al 2013 [16].

El Municipio de Guayaquil hizo la medición de la huella de carbono de la ciudad con el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) y tomando como línea base y referencia al año 2014 se obtuvo el valor de 6,8 millones de toneladas de CO₂e siendo el principal contribuyente el transporte, con un 39% de emisiones de GEI y teniendo al diésel como fuente incidente [20].

5. ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EMPRESAS ECUATORIANAS

Entre las empresas que han calculado la huella de carbono se puede mencionar a La Fabril, Toni y Pronaca, que han logrado una innovación en responsabilidad social empresarial al calcular y obtener el certificado de huella de carbono en Ecuador. La Cámara de Comercio reportó que son las primeras empresas

del sector de Alimentos y Bebidas que lo han hecho a nivel andino [21].

Además, la Corporación Favorita midió la huella de carbono. Según el estudio realizado, el 50% se debe al consumo de energía eléctrica [22]. También, Negocios Industriales Real ha trabajado en la

medición de emisiones de gases efecto invernadero lo que implicó calcular la huella de carbono de sus productos. El

proceso fue ejecutado en su totalidad por la Consultora Sambito y validado a nivel internacional por TUV Rheinland [23].

6. METODOLOGÍA

El estudio es descriptivo y explicativo, el cálculo de la huella de carbono de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, se efectuó para el año base 2016. La metodología se dividió en dos partes principales. La primera, determina los pasos a seguir para la estimación de los tres alcances que miden la huella de carbono, derivados de las actividades en las insta-

laciones de la universidad, siguiendo las indicaciones de la referencia [24] y la segunda, expone recomendaciones que desarrollan las medidas de reducción efectivas de emisiones de CO₂ en la institución. En la figura 1 se muestran los bloques o edificios de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, que son los límites operacionales de la institución.

Figura 1. Bloques de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil



Elaboración: Lcda. Mariella Velasteguí

6.1 Alcance

El parámetro Alcance, tiene tres componentes, el Alcance 1, que lo constituyen las emisiones directas de GEI prove-

nientes de la combustión desde fuentes que son propiedad o que están controladas por la UPS, lo que incluye las emisiones por combustión móvil, es decir, las

asociadas al consumo de combustible en equipos móviles o vehículos de la institución, y las fugitivas, derivadas de fugas de gases de equipos de climatización usadas en las instalaciones, como fugas de la

central del aire acondicionado. Los datos del Alcance 1 fueron proporcionados por el Departamento Técnico Administrativo de Inventario de la UPS para el año base 2016 y se exponen en la Tabla 1.

Tabla 1. Alcance 1: Emisiones Directas de GEI, año 2016

COMBUSTIBLES			
No.	Descripción	Unidad	Consumo Anual
1	Diésel (furgoneta Toyota Hiace)	Galón	1.637,00
2	Gasolina súper (camioneta Toyota Hilux)	Galón	1.294,00
REFRIGERANTES			
1	Refrigerante R22 (Clorodifluorometano CHClF ₂)	Libra	66,00
2	Refrigerante R410 (50% CH ₂ F ₂ +50% CHF ₂ CF ₃)	Libra	1.650,00

Fuente: Dirección Técnica de Administración e inventarios, UPS sede Guayaquil.

El Alcance 2 aglutina las emisiones asociadas a la generación de electricidad adquirida y consumida por la UPS y que están controlados por otra organización, en este caso es la Eléctrica de

Guayaquil. Los datos fueron obtenidos de las facturas del consumo energético de la institución, facilitados por el Departamento de Gestión de Talento Humano y se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Alcance 2: Emisiones Indirectas de GEI, año 2016

BLOQUE	ELECTRICIDAD (kWh)
A	92.623,00
B	605.973,00
C	22.906,00
D	1'768.268,00
F	585.537,00
G1	25.227,00
G2	31.343,00
Gimnasio	6.882,00
Total	3'138.759,00

Fuente: Dirección Técnica de Gestión del Talento Humano, UPS sede Guayaquil.

El cálculo de las emisiones de los dos primeros alcances mencionados es de carácter obligatorio. Finalmente, el Alcance 3 involucra a otras emisiones que son consecuencia de las actividades de la UPS, pero generadas por fuentes no controladas o que no son propiedad de la institución. Estas emisiones son de reporte

voluntario, para este cálculo se tomaron en cuenta las resmas de papel utilizadas por la universidad de acuerdo a datos proporcionados por el Departamento Técnico Administrativo de Inventario y la cantidad del plástico recogida durante el año 2016 según la referencia [25], los datos de este alcance se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Alcance 3: Otras emisiones indirectas (voluntario) de la UPS, sede Guayaquil

CONSUMO DE PRODUCTOS			
No.	Descripción	Unidad	Consumo Anual
1	Papel	kg	4,771.31
2	Plástico reciclado	kg	-5,863.68

Fuente: Dirección Técnica de Administración e inventarios, UPS sede Guayaquil.

6.2 Factores de emisión

Considerando que no existen factores de emisión nacionales, se utilizó en esta investigación la información que está en la base de datos creada por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change) y de DEFRA (Department for Environment Food & Rural Affairs) y otras fuentes confiables referenciadas.

ALCANCE 1:

- Factor de emisión del diésel es 3,1787 Kilos/ Litros por DEFRA para combustión, no transporte por carretera UK (2010).
- Factor de emisión de la gasolina es 2,7329 Kilos/Litros por DEFRA para combustión, no transporte por carretera UK (2010).

- Factor de emisión del refrigerante HCFC-22 es de 1.810,0 Kg CO₂ e/Kg.

ALCANCE 2:

- Factor de emisión de Electricidad Promedio en Ecuador 2013 (CO₂) es 0,5076 Toneladas/MWh [26].

ALCANCE 3:

- Factor de emisión para el papel reciclado – 157 Kilos/ Tonelada, según DEFRA.
- Factor de emisión para el plástico reciclado – 282 Kilos/Tonelada, según DEFRA.

En base a la sumatoria de la multiplicación de los datos de las actividades de GEI por los factores de emisión de GEI se estimó la huella de carbono de la UPS y la huella per cápita se obtuvo dividiendo las tone-

ladas de CO₂ equivalentes para el número de estudiantes del año 2016 de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil.

7. RESULTADOS

La huella de carbono estimada fue de 1.630,196 t CO₂e. La Tabla 4 resume la distribución porcentual de las emisiones por procesos derivados de los consumos y generación de residuos en la universidad.

Tabla 4. Alcance 3: Distribución Porcentual de las emisiones por procesos

PROCESOS	TONELADAS CO2e	(%)
Consumo de diésel en furgoneta Toyota Hiace	21,70	1
Consumo de gasolina súper en camioneta Toyota Hilux	14,75	1
Consumo de Refrigerantes	1,54	0
Consumo Eléctrico	1.593,23	98
Consumo de papel	0,966	0
Consumo de plásticos	-2,00	0
Total	1.630,196	100

Fuente: Autor

El mayor porcentaje de emisiones en el año 2016 corresponde al Alcance 2, que son emisiones indirectas por el consumo de la energía eléctrica en la universidad, siendo el bloque D el que más consume energía. Por lo cual, la UPS podría implementar consejos prácticos e implantar un programa de inducción de ahorro energético para la racionalización de recursos. Además, llevar a cabo el uso de energías renovables con el objeto de incrementar la eficiencia energética en la institución educativa [27].

Comparando los resultados con los de Universidad Politécnica Salesiana de la sede Quito, Campus Sur, puede verificarse que el valor obtenido de la huella

de carbono en el año 2012 es de 873,88 t CO₂e. La diferencia de las estimaciones entre sedes se debe a las emisiones de diferentes fuentes y datos por clima, como el aire acondicionado requerido en la UPS de Guayaquil, cambio de los factores de emisión por tiempo, servicio eléctrico, número de estudiantes, etc. Con respecto al estudio de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería en la Universidad Tecnológica Equinoccial de Quito, la huella de carbono obtenida en esta investigación fue de 151,41 tCO₂e, un valor apropiado porque se trata de tan solo una facultad.

Según la referencia [28] el número de alumnos de la UPS, sede Quito, Campus Sur, en el año 2012 fue de

3.648 estudiantes, por lo tanto, su huella de carbono per cápita es de 0,2395. En la UPS sede Guayaquil de acuerdo a la referencia [29], el número de es-

tudiantes en el año 2016 fue de 7.257, por lo tanto, su huella per cápita es de 0,2246 t CO₂e por estudiante, lo cual es un resultado esperado.

8. CONCLUSIONES

La huella de carbono de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, en el año base 2016 es de 1.630,196 t CO₂e y su huella per cápita es de 0,2246 t CO₂e calculada por estudiante.

La huella per cápita de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, es de 0,2246 t CO₂e por alumno.

Se debe propender a que ese indicador no suba con las nuevas políticas de eficiencia energética.

La UPS ejecuta buenas prácticas de separación de desechos reciclables, se logró separar 5.863,68 kg de botellas de plástico en el año 2016, valor que aporta a la reducción de la huella de carbono.

9. RECOMENDACIONES

La disminución de la huella de carbono conlleva a una decisión desde el Rectorado de la UPS, debido a que a corto plazo representa inversiones para la institución, pero a largo plazo son ahorros financieros, además, contribuye a disminuir la huella de carbono en el planeta.

Considerando que el porcentaje de emisiones es más alto en el Alcance 2, debería efectuarse un análisis técnico económico de equipos eléctricos obsoletos o ineficientes en la institución y que

podrían ser reemplazados por otros más eficientes, como por ejemplo, las luminarias led, los sensores de iluminación, etc.

El grupo técnico que mantiene en funcionamiento los equipos en la UPS debe ser concientizado, a fin de formar un grupo de trabajo comprometido en la reducción de la huella de carbono.

Es necesario elaborar formatos que registren los datos básicos para el cálculo de la huella de carbono en años posteriores.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los departamentos Técnico Administrativo de Inventario y Gestión de Talento Humano por los datos de consumo proporcionados para el presente cálculo de la huella de carbono

de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil del año base 2016.

A la Ing. Verónica Mosquera por la revisión del texto de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] T. Wiedmann and J. Minx, *Ecological Economics Research Trends*. New York, 2008.
- [2] C. Ministerio de Medio Ambiente, “Huella de Carbono.” [Online]. Available: <http://portal.mma.gob.cl/cc-02-7-huella-de-carbono/>. [Accessed: 17-Apr-2017].
- [3] G. Quadri de la Torre, *Ayudemos a defender el medio ambiente. Políticas y acciones prácticas*. México, 2012.
- [4] C. Herrán, “El cambio climático y sus consecuencias para América Latina,” *Rev. la Bols. Comercio Rosario*, pp. 6-10, 2012.
- [5] W. R. Institute, “Green House Gas Protocol,” 2014. [Online]. Available: <http://www.ghgprotocol.org/>. [Accessed: 18-Apr-2017].
- [6] B. S. Institute, “PAS 2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse emissions of goods and services,” 2008. [Online]. Available: <https://www.bsigroup.com/en-GB/>. [Accessed: 18-Apr-2017].
- [7] J. L. Domenech, A. Carballo, L. Jiménez, and J. L. De La Cruz, “Estándares 2010 de huella de carbono MC3,” in *Conama10 Congreso Nacional de Medio Ambiente*, 2010, vol. 11.
- [8] F. J. Dávila Collaguazo and D. S. Varela Rosario, “Determinación de la huella de carbono en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur,” *La Granja*, 2014.
- [9] F. R. Viteri Moya, “Cálculo de la Huella de Carbono de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial Quito-Ecuador.” Universidad de las Fuerzas Armadas Espe. Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental, 2013.
- [10] C. N. de I. de las academias Nacionales, “Cambio climático. Evidencia, impactos y opciones,” 2012. [Online]. Available: <http://nas-sites.org/americanasclimatechoices/files/2013/04/136909453-Cambio-Climatico-Evidencia-Impactos-y-Opciones.pdf>.
- [11] Andes, “Ecuador, los efectos del cambio climático, iniciativas ambientales y la COP 21,” 2015. [Online]. Available: <http://www.andes.info.ec/es/noticias/ecuador-efectos-cambio-climatico-iniciativas-ambientales-cop-21.html>. [Accessed: 17-Apr-2017].
- [12] M. del Ambiente, “Presidente Correa ratificó la Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto.” [Online]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/presidente-correa-ratifico-la-enmienda-de-doha-al-protocolo-de-kyoto/>.
- [13] M. del Ambiente, “Ecuador suscribe Acuerdo de París sobre cambio climático,” 2016. [Online]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/ecuador-suscribe-acuerdo-de-paris-sobre-cambio-climatico/>. [Accessed: 02-Jun-2017].
- [14] U. Nations, “Acuerdo histórico sobre el cambio climático en París,” 2015. [Online]. Available: <http://newsroom.unfccc.int/es/noticias/final-cop21/>.
- [15] C. de la R. del Ecuador, “Constitución de la República del Ecuador. Art. 414,” 2008. [Online]. Available: http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf.
- [16] S. N. de P. y D. SENPLADES, *Buen Vivir, Plan Nacional 2013-2017*, 2013.
- [17] P. de Estado, “Decreto Ejecutivo 1815. Mitigación del cambio climático y la adaptación a sus efectos.” [Online]. Available: http://clima-lac.org/doc/Componente 2/Ecuador/DECRETO_N1815.pdf.
- [18] P. de Estado, “Decreto Ejecutivo 495. Comité Interinstitucional de Cambio Climático,” 2010. [Online]. Available: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu140057.pdf>.
- [19] G. B. Mundial, “Emisiones de CO2 (kt),” 2013. [Online]. Available: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?view=chart>. [Accessed: 27-Apr-2017].
- [20] E. Universo, “Guayaquilistasuplanparaadaptarsealcambioclimático,” 2016. [Online]. Available: <http://www.eluniverso.com/vida-estilo/2016/07/17/nota/5693145/guayaquil-alista-su-plan-adaptarse-cambio-climatico>.

- [21] Corpaffairs, “Tres empresas ecuatorianas obtienen el certificado de huella de carbono.” [Online]. Available: <http://www.corpaffairs.com.ec/certificado-de-huella-de-carbono-en-ecuador/>.
- [22] Corporación Favorita, “En el centro de distribución, (cd) se realiza el acopio del material reciclable que proviene de los locales. Huella de carbono.” [Online]. Available: <http://www.corporacionfavorita.com/portal/es/web/favorita/puntos-de-reciclaje>.
- [23] M. del Ambiente, “Negocios Industriales Real mide la Huella de Carbono de sus productos.” [Online]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/negocios-industriales-real-mide-la-huella-de-carbono-de-sus-productos/>.
- [24] M. de A. A. y M. A. de España and O. E. de C. Climático, “Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización.” Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente Madrid, 2015.
- [25] R. Rómulo, *Auditoría Ambiental de desechos sólidos en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil*. 2016.
- [26] Ministerio del Ambiente (MAE), “Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional de Interconectado del Ecuador,” 2013. [Online]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Factor-de-emisi%C3%B3n-2013-PUBLICADO.pdf>. [Accessed: 07-Jun-2017].
- [27] Universidad Politécnica Salesiana, “La UPS en cifras,” 2012. [Online]. Available: http://www.ups.edu.ec/web/guest/transparencia/-/document_library_display/4n7NQgapYnLS/view/7371307. [Accessed: 06-Jun-2017].
- [28] Universidad Politécnica Salesiana, “UPS en cifras e indicadores de gestión 2016,” 2016.
- [29] R. Ayala *et al.*, “Segundo Congreso Salesiano de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad.” pp. 148-153, 2016.

Immobilization of lipases from *Aspergillus Niger* for the treatment of water contaminated with fats

Inmovilización de lipasas provenientes de *Aspergillus Niger* para el tratamiento de aguas contaminadas con grasas

K. Rosero¹, E. Mediavilla², Z. Lozano³

Abstract: *The waste water analyzed in several rivers and streams of the south of Quito show a high concentration of fat and oils, even exceeding the maximum permissible limits and the problem of it are the low rate of degradation, also makes harder the biological treatment and cause operational problems in the wastewater treatment plants. In view of this problem, it has been proposed to evaluate the efficiency of the lipase of *Aspergillus niger* immobilized in calcium alginate in the pre-treatment of the wastewater coming from Shanshayacu creek since the conventional treatments used in the case of fats have two disadvantages either a low efficiency or in turn a very high cost. The percentage reduction in total fat content was determined and analyzed as a result of the enzymatic pre-treatment. Finally a reduction of 54% in the total fat content was achieved. In this way it was concluded that the pretreatment shows important results that demonstrate the efficiency of the same and the advantages that it provides over conventional treatments.*

Keywords: *Aspergillus Niger, immobilization, lipases, enzymatic treatment.*

Resumen: Las aguas residuales analizadas en varios ríos y quebradas del sur de Quito muestran una alta concentración de grasa y aceites, incluso superior a los límites máximos permisibles y el problema está en su baja velocidad de degradación, además dificulta el tratamiento biológico y causa problemas operacionales dentro de las plantas de tratamiento de agua. Ante este inconveniente se ha planteado el evaluar la eficiencia de la lipasa de *Aspergillus Niger* inmovilizada en alginato de calcio en el pre-tratamiento de las aguas residuales provenientes de la quebrada Shanshayacu ya que los tratamientos convencionales utilizados en el caso de las grasas presentan dos desventajas ya sea una baja eficiencia o a su vez un costo muy elevado. Por ello se determinó y analizó el porcentaje de reducción del contenido de grasas totales como resultado del pre-tratamiento enzimático. Finalmente se logró una reducción del 54 % en el contenido de las grasas totales. De esta manera se llegó a la conclusión de que el pre tratamiento muestra resultados importantes que demuestran la eficiencia del mismo y las ventajas que proporciona sobre los tratamientos convencionales.

Palabras clave: *Aspergillus Niger, inmovilización, lipasas, tratamiento enzimático.*

-
- 1 Karina Rosero Toledo, Estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
 - 2 Emerson Mediavilla Peñaherrera, Estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
 - 3 Zayda Lozano, Mg. Docente de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1. INTRODUCCIÓN

Los caudales naturales del Distrito Metropolitano se convirtieron en vertederos de todo tipo de desechos y en el destino final de las aguas negras. Solo el 1% de las aguas residuales que genera el Distrito Metropolitano de Quito son tratadas [7], aunque este porcentaje ha aumentado de un 3 a 5% debido a la implementación de Plantas de Tratamiento de Agua Residual, los efectos siguen siendo notables.

De acuerdo estudios y análisis realizados en varios puntos de la ciudad de Quito se ha comprobado que unos de los principales contaminantes en el agua residual son las grasas en un porcentaje del 10%. Las grasas y aceites contaminantes, provienen principalmente del consumo doméstico, pero además de talleres automotrices, industrias petroleras, rastros, procesadoras de carne y la industria cosmética [13].

Los efectos provocados por grasas y aceites se encuentran presentes en aguas domésticas e industriales, pueden ser orgánicos o derivados del petróleo. Las grasas y aceites por densidad, se colocan sobre la superficie creando películas que alteran los procesos biológicos de las aguas; entre los más notables [12]. Este tipo de contaminantes debido a su baja velocidad de degradación, dificulta el tratamiento biológico y causa problemas operacionales como pérdida de eficiencia, colapso del reactor debido a la formación de espuma que causa la flotación de biomasa granular; formación de capas de grasa en la superficie del reactor, las cuales no se digieren;

obstrucciones y malos olores debido a la solidificación de las grasas a bajas temperaturas, entre otros [3], [15].

Estos problemas se pueden solucionar con un pre-tratamiento en donde se hidrolicen las grasas antes del tratamiento biológico. Los métodos convencionales para retirar las grasas antes de la biodigestión, tales como trampas de grasa, filtración con membranas, coagulación, adsorción en carbón activado y tratamientos físicoquímicos, tienen desventajas como la necesidad de reactivos de alto costo, baja eficiencia de remoción, producción de lodos extremadamente problemáticos, etc. El tratamiento con enzimas se propone como una alternativa rentable, limpia y amigable con el ambiente, comparado con los métodos convencionales [8], [1], [10].

En la actualidad existen varios estudios sobre la eficiencia enzimática de las lipasas en el tratamiento de diferentes clases de aguas residuales tanto de industrias como la láctea, y de centrales de sacrificio, aumentando la biodegradabilidad de estas aguas [13], [11].

El tratamiento de efluentes con altos contenidos de grasas es una aplicación poco explorada para las lipasas; estas enzimas poseen la capacidad de catalizar la hidrólisis de grasas (triglicéridos); las mismas que una vez inmovilizadas se convierten en una opción para la recuperación y posterior reúso de la enzima, aprovechando al máximo su actividad residual; además, se mejora la estabilidad operacional y térmica de la enzima [2],[5].

El objetivo del presente trabajo es analizar la eficiencia de degradación de grasas y aceites de efluentes altamente

contaminadas utilizando lipasas inmovilizadas en alginato de calcio provenientes de *Aspergillus niger*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención de las lipasas se realizó un cultivo de *Aspergillus niger* proveniente de una cepa madre proporcionada por los laboratorios de Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana, para el cultivo se utilizaron 2 tipos de medio; Agar Dextrosa Patata y Agar Sabouraud los mismos que fueron enriquecidos con 1% de Sulfato de amonio y 2% de aceite de oliva como fuentes de nitrógeno y carbono y se procedió a sembrar en 5 cajas Petri con cada medio y colocar en una incubadora durante 7 días a 27 °C y adicionalmente se realizó una solución de agua destilada con sulfato de amonio y aceite de oliva la misma que se dejó en refrigeración a 4°C.

Para la obtención de las lipasas se extrajeron las esporas de los dos tipos de cultivo en 10 matraces Erlenmeyer en los cuales se colocó 100ml de la solución refrigerada junto con 5 gramos de salvado de trigo y se lavó las esporas de cada caja Petri para colocarlas en cada matraz, luego se los selló y colocó durante otros 7 días en la incubadora a 27 °C.

Posteriormente se agitaron los matraces en el shaker por 30 minutos a 150 rpm, luego se procedió a realizar la filtración del contenido de los matraces en dos vasos de precipitación uno para cada medio utilizado y una vez que se obtuvo la parte líquida se procedió a poner en la centrifuga a 13500 rpm por 5

minutos y luego separar el medio líquido de la parte que se precipitó y así se obtuvo el extracto extracelular.

Luego se procedió a realizar una liofilización del extracto para posteriormente realizar la formación de las perlas de alginato, para lo cual se disolvió en 30ml de agua destilada 1g de alginato de calcio y se puso a calentar para disolverlo y se dejó enfriar, en otro vaso de precipitación se colocó 20 ml de agua destilada y 2,5 g de la enzima liofilizada y se mezcló bien, luego se procedió a mezclar las soluciones y colocarlas en tubos capilares, se dejó caer gota a gota sobre una superficie con cloruro de calcio 50mM gelificada a una altura de 2cm y se deja endurecer por 2 horas luego de las cuales se transfieren a una solución de cloruro de calcio 10mM (10ml de solución por cada gramo de perlas) para su conservación, tal como se puede observar en la Figura 1 misma que muestra el resultado de la inmovilización.

Una vez que se obtuvieron las perlas se procedió a realizar una prueba de efectividad para lo cual se utilizó una muestra de 100ml de agua residual a la cual a través de un proceso de destilación para lo cual se acidificó la muestra con 150ml de HCl 1 + 1 (solución preparada con un volumen de ácido clorhídrico concentrado y un volumen de agua) hasta pH 2 o menos (normal-

mente 5 ml de HCl son suficientes), luego se procedió a verter la muestra acidificada en el embudo de separación y se enjuaga el envase con 30 mL de hexano que luego también se vierten al embudo. Se agito el embudo tapado por 2 minutos y debido a los vapores que se generaron se abrió ligeramente la llave al menos dos veces durante la agitación, para esto se colocó al embudo en posición horizontal y se sujetó la tapa para evitar posibles derrames, luego se dejó el embudo en el soporte para que se separen las capas.

Por otra parte se taró un matraz de destilación. Se colocó papel filtro sobre el embudo de filtración y luego se puso sobre el matraz de destilación, se humedeció entonces el papel filtro con el solvente (alrededor de 2 mL), se vació la fase acuosa del embudo en un vaso de precipitación y se drenó la capa de disolvente a través del embudo de filtración.

Luego se enjuagó nuevamente la botella con 30 mL de hexano y se vació otra vez este contenido en el embudo de separación, y se volvió a repetir el proceso, después se filtró en el embudo de filtración utilizado anteriormente pero se añadió otros 2 mL de hexano sobre las paredes del papel filtro. Se procedió a destilar los acumulados de disolvente del matraz, a 69°C durante 15 minutos.

Se enfrió el matraz en el desecador durante 30 minutos y se procedió a pesar el matraz. La diferencia entre este valor y el peso del matraz vacío corresponde a la cantidad de grasas y aceites.

Después de este proceso en una muestra de 100ml de agua residual se colocó 0,9g de enzima inmovilizada y se dejó durante 3 días a temperatura ambiente, tras los cuales se volvió a realizar la prueba mediante el proceso de destilación y se compararon los nuevos resultados con los obtenidos con la muestra de referencia.

3. RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron de la prueba de eficiencia del pre tratamiento fueron en el caso de la muestra de referencia 2,0924g y en la muestra con el pre tratamiento enzimático de

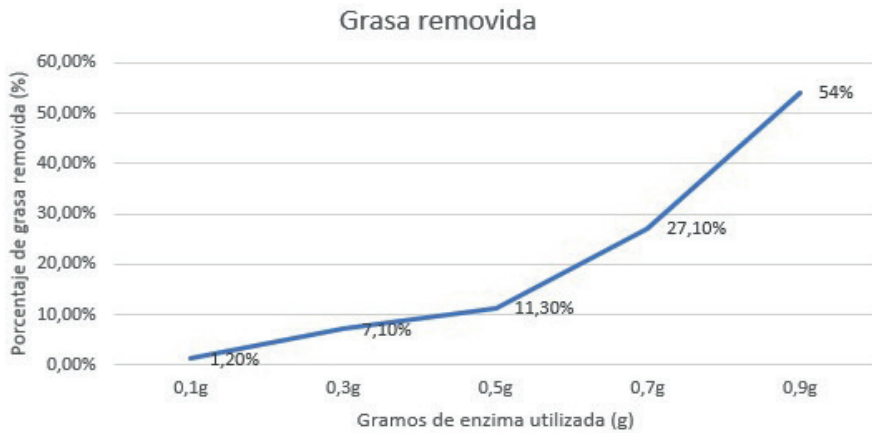
0,962504g, lo cual demostraba una reducción del 54% de la cantidad de grasas totales en la muestra tras la aplicación de dicho pre tratamiento tal como se puede observar en la Tabla 1.

Figura 1. Perlas de alginato de calcio



Tabla 1. Cantidad de grasa removida y de enzima utilizada.

Muestra de agua residual	Cantidad de enzima	Grasa removida
100ml	--	--
100ml	0,1g	1,2%
100ml	0,3g	7,1%
100ml	0,5g	11,3%
100ml	0,7g	27,1%
100ml	0,9g	54%

Figura 2. Cantidad de grasa removida frente a la cantidad de enzima utilizada

4. DISCUSIÓN

Después del tratamiento enzimático se logró una remoción de las grasas del 54%. Estos resultados pueden ser comparados con otros obtenidos por varios autores que han trabajado en el pre-tratamiento de esta clase de aguas residuales como las de los efluentes de las industrias lácteas por medio del uso de lipasas inmovilizadas.

Como primer punto podemos comparar con los resultados obtenidos en el

estudio [8], los cuales mostraron que se redujeron entre un 40 y 60 % las grasas durante 3 días de tratamiento con la lipasa de *Candida rugosa* inmovilizada en alginato de calcio. En otro trabajo de estos mismos autores logrados obtener una reducción de las grasas entre el 48 y 32 %, en un agua residual de una industria de alimentos para mascotas utilizando la lipasa de *Candida rugosa* inmovilizada en un híbrido alginato de calcio/sol-gel [8].

[5] en su trabajo utilizaron una lipasa de *Aspergillus niger* inmovilizada en quitosano, y llegaron a obtener una reducción en la concentración de las grasas y la DQO del 48 y 47 %, respectivamente, después de 3 días de hidrólisis enzimática. También se ha reportado la reducción de la DBO5 (demanda bioquímica de oxígeno) y el contenido de grasas después del tratamiento con lipasas de aguas residuales con alta concentración de grasas. En otro estudio realizado, [4] el pre-tratamiento de un agua residual proveniente de una industria láctea con alto contenido de grasas utilizando una preparación enzimática, la cual solo logró degradar

parcialmente las grasas del agua residual, además causó un decrecimiento en el tiempo de retención en el reactor biológico y redujo los problemas operacionales que causan las grasas. El reactor UASB (del inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket) tuvo una mayor remoción de la DQO cuando el afluente fue pre-tratado con el complejo enzimático, que cuando no se trató. La materia orgánica, como las grasas, tiene una baja velocidad de degradación en un tratamiento biológico, por lo que la digestión de estos compuestos es la etapa limitante del proceso haciendo que el tiempo de tratamiento aumente considerablemente [6].

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados presentados y los obtenidos se puede considerar un pre tratamiento enzimático como un método viable y eficiente en el proceso de reducción de grasas totales en el agua residual y al mismo tiempo favorable por el aumento de la biodegradabilidad de la misma

Tras las pruebas de eficiencias realizadas en las enzimas lipasas inmovilizadas se demostró que su rendimiento es superior al de los tratamientos convencionales como las trampas de grasa o membranas. Por otro lado frente a tratamientos con gran eficiencia demuestra que hay una reducción en costo de los materiales utilizados.

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten afirmar que la cantidad de grasas totales se ha visto reducida en un 54 % lo cual con-

cuerda con otros resultados obtenidos en otras investigaciones.

Se considera que los niveles de eficiencia obtenidos en la investigación pueden ser mejorados si la enzima es sometida a un proceso de purificación previo a su inmovilización.

Adicionalmente se propone investigar la reducción en los niveles de otros parámetros como por ejemplo DQO, DBO5 y Oxígeno Disuelto ya que de acuerdo con varios estudios similares se ha demostrado la reducción tanto del tiempo de retención celular, retención hidráulica y la concentración de los mismos en el agua residual.

La aplicación hidrolítica a través de la inmovilización de lipasas de *Aspergillus niger*, concluye que su campo de acción se centra en grasas miscibles, como en los efluentes de la industria

láctea e industria alimenticia, recalcan-
do a su vez que los costos de la Poliacri-

lamida (método convencional), supera-
ría a la de lipasas de *Aspergillus niger*.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Po-
litecnica Salesiana y a nuestra tutora la
Ingeniera Zayda Lozano por el apoyo

que nos han demostrado en la realiza-
ción de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] A. Aguilar, E. Benedito, A. Furigo, and H. Ferreira de Castro, Anaerobic Biodegradability of Dairy Wastewater Pretreated with Porcine Pancreas Lipase. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Julio, 2010, 53(6), 1279-1284.
- [2] V. Balcão, A. Paiva, and F. Malcata, Bioreactors with immobilized lipases: state of the art. *Enzyme and Microbial Technology*, Marzo, 1996, 18, pp. 392-416.
- [3] M. Camarota, D. Freire, A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. *Bioresource Technology*, 2006, 97, 2195-2210.
- [4] M. Cammarota, G. A. Teixeira, and D. M. Freire, Enzymatic pre-hydrolysis and anaerobic degradation of wastewaters with high fat contents. *Biotechnology Letters*, 2001, 23, 1591-1595.
- [5] N. Dumore, and M. Mukhopadhyay, Removal of oil and grease using immobilized triacylglycerin lipase. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2012, 68, 65-70.
- [6] L. A. Fernández Guelfo, *Caracterización cinética de la degradación anaerobia termofílica seca de la Forsu. Efecto de diferentes pretratamientos sobre la biodegradabilidad del residuo*. Tesis Doctoral. Cádiz: Universidad de Cádiz. Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente, 2001.
- [7] Gonzales, P. Planta de Quitumbe limpiará el agua del Sur de Quito. *El Comercio*, 2017.
- [8] Jeganathan, J.; Bassi, A. & Nakhla, G. Pre-treatment of high oil and grease pet food industrial wastewaters using immobilized lipase hydrolyzation. *Journal of Hazardous Materials*, 2006a, 137, 121-8.
- [9] Jeganathan, J.; Nakhla, G. & Bassi, A. Long-term performance of high-rate anaerobic reactors for the treatment of oily wastewater. *Environmental Science & Technology*, 2006b, 40(20), 6466-72.
- [10] Masse, L.; Kennedy, K. & Chou, S. Testing of alkaline and enzymatic hydrolysis pretreatments for fat particles in slaughterhouse wastewater. *Bioresource Technology*, 2001, 77(2), 145-55.
- [11] Mendes, A.; Pereira, E. & Ferreira de Castro, H. Effect of the enzymatic hydrolysis pretreatment of lipids-rich wastewater on the anaerobic biodigestion. *Biochemical Engineering Journal*, 2006, 32, 185-190.
- [12] Pérez, C. Tratamiento de Aguas, Manual de Laboratorio. Universidad Autónoma de México, 2012, 24-27.
- [13] Rosa, D., Duarte, I., Saavedra, N.; et al. Performance and molecular evaluation of an anaerobic system with suspended biomass for treating wastewater with high fat content after enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*, 2009, 100, 6170-6.
- [14] Secretaría del Ambiente. Estudio de la línea base sobre el uso y consumo de los detergentes biodegradables y aceites comestibles de uso comercial y doméstico con la finalidad de plantear posibles políticas para su regulación e incentivos. Municipio de Quito, 2014, 12-14.
- [15] Vidal, G., Carvalho, A., Méndez, R, Lema, J. Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bioresource Technology*, 2014, 74, 231-239.

Adsorption of cadmium onto an Ecuadorian andosol

Adsorción de cadmio sobre un andosol ecuatoriano

J. Silva-Yumi¹, N. Veloz², D. Moyano³

Abstract: *In this research the adsorption of Cd (II) from aqueous media onto an andosol and the influence of pH, ionic strength, dose and contact time were investigated to determine the potential for the removal of cadmium from contaminated media, mainly aqueous. The andosol was taken from a deposit located in the community of San José de Achotillo in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas, the physical-chemical characterization of the soil included the determination of pH, electrical conductivity, total organic carbon, humidity, real density, cation exchange capacity, cadmium, nickel, lead and isoelectric point, the infra-red spectrum was also obtained. The adsorption studies were performed by the batch method. The characterization showed characteristic owns of an andosol. From the adsorption studies it was possible to establish that the adsorption capacity is dependent on pH, surface charge, ionic strength, dose and contact time. The pseudo second-order model and the Langmuir model are the ones that best describe the kinetic and adsorption experimental data, respectively, indicating that the adsorption of cadmium ions is mainly of the chemical type and occurs on two active sites of the solid corresponding to hydroxyl groups, neutral or negatively charged.*

Keywords: *andosol, natural nanoparticles, allophane, halloysite, cadmium adsorption*

Resumen: En esta investigación se investigó la adsorción de Cd (II) desde medios acuosos sobre un andosol y la influencia del pH, la fuerza iónica, la dosis y el tiempo de contacto para determinar el potencial de remoción de cadmio de medios contaminados, principalmente acuosos. El andosol fue tomado de un depósito localizado en la comunidad de San José de Achotillo en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. La caracterización físico-química del suelo incluyó la determinación del pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico total, humedad, densidad, capacidad de intercambio catiónico, cadmio, níquel, plomo y punto isoeléctrico, se obtuvo además el espectro infrarrojo. Los estudios de adsorción se realizaron por el método batch. La caracterización mostró características propias de un andosol. A partir de los estudios de adsorción se pudo establecer que la capacidad de adsorción depende del pH, carga superficial, fuerza iónica, dosis y tiempo de contacto. El modelo de pseudo segundo orden y el modelo de Langmuir son los que mejor describen los datos experimentales cinéticos y de adsorción, respectivamente, lo que indica que la adsorción de iones de cadmio es principalmente del tipo químico y se produce en dos sitios activos del sólido correspondientes a grupos hidroxilos, neutros o cargados negativamente.

Palabras clave: Andosol, nanopartículas naturales, alofán, halloysita, adsorción de cadmio.

-
- 1 Dr. Jorge Silva-Yumi, Docente-Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Ecuador, jorge.silvay@esPOCH.edu.ec
 - 2 Dra. Nancy Veloz Mayorga, Docente-Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Ecuador, nveloz@esPOCH.edu.ec
 - 3 Diego Moyano Rodríguez, Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Ecuador, dmoyano@esPOCH.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Los andosoles son suelos que se forman a partir de materiales volcánicos a través de procesos de meteorización bajo condiciones ácidas [1], se encuentran distribuidos alrededor de todo el mundo, en regiones con una considerable actividad volcánica. En América se encuentran en países ubicados alrededor del conocido como cinturón de fuego del pacífico: Alaska, Estados Unidos, México, Guatemala, El

Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Las Antillas Colombia, Ecuador, Chile y Argentina [1].

En Ecuador los andosoles (Figura 1) constituyen el 30% de la superficie territorial. Se encuentran alrededor de la región sierra centro-norte en zonas altas y húmedas, extendiéndose hacia la costa y el oriente. Son suelos con baja densidad aparente, alto contenido de materia orgánica, y alta retención de humedad [2], [3].

Figura 1. Superficie (60 593 km²) del Ecuador cubierta por suelos de origen volcánico (andosoles)



Fuente: 1er Taller Latinoamericano Globalsoilmap.net [4]

Los andosoles son suelos que tienen una considerable capacidad de adsorción ya que pueden adoptar carga positiva o negativa en función del pH [5],

debido a que contienen nanopartículas con carga variable como alofán, imogolita, halloysita y ferrihidrita [6], [7] siendo potenciales para la remoción de

contaminantes; aniones o cationes, presentes en medios acuosos.

Existen algunos estudios sobre la aplicación de andosoles y suelos volcánicos en la remoción de contaminantes: clorofenol [8], clordecona [9], atrazina [10], fosfato [11], fluoruro [12], y sulfato [13], pero también otros estudios en los que se aprovechan las propiedades de sus componentes como alofán: obtención de compósitos con propiedades bactericidas [14] y con propiedades fotocatalíticas [15], [16] para la degradación de contaminantes orgánicos, estudio de su actividad antiinflamatoria [17], entre otras.

En 2009 en Ecuador se descubrió un yacimiento de andosol rico en alofán [18] (una nanopartícula natural) y con bajo contenido de materia orgánica [7] en Santo Domingo de los Tsáchilas. Las investigaciones en torno a este depósito (Figura 2) se han enfocado en el estudio de la adsorción de fluoruro [19], su actividad antiinflamatoria [17] y citotoxicidad [20].

En esta investigación se plantea que el andosol por su alto contenido de alofán puede ser útil como material adsorbente. Se estudia la adsorción de cadmio por el método batch y las principales variables que influyen en el proceso de adsorción: pH, fuerza iónica, dosis y tiempo de contacto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Muestra

El suelo fue tomado de un yacimiento ubicado en la comunidad de San José de Achotillo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, (0°08'19.1"S 79°04'42.4"W).

2.2 Caracterización físico-química

La caracterización físico-química se realizó empleando métodos estándar de análisis, se determinó el pH y conductividad eléctrica (EPA 9045D), carbono orgánico (método de Walkey & Black), humedad (ASTM D4959), densidad real (método del picnómetro), capacidad de intercambio catiónico, cadmio, níquel y plomo.

2.3 Punto isoeléctrico (PIE)

Se determinó por microelectroforesis, se empleó un equipo Zeta-Me-

ter (ZM-77), se utilizó una suspensión de 0.05 g L⁻¹ de andosol en 1 × 10⁻³ M de NaNO₃. El potencial zeta (PZ) se calculó empleando la ecuación de Helmholtz-Smoluchowski [21], [22]. A partir de una gráfica PZ en función del pH, se determinó el PIE.

2.4 Espectro Infrarrojo (IR)

El espectro IR se obtuvo utilizando una pastilla de KBr con un equipo BRUKER IFS 66, se realizaron 32 barridos entre 400-4000 cm⁻¹ en el modo transmisión, con una resolución de 4 cm⁻¹.

2.5 Efecto del pH

Para estudiar el efecto del pH en el proceso de adsorción, se utilizó una solución de 5 ppm de Cd(II) en 0.1N de NaNO₃, se ajustó el pH de la solución a 2, 4, 6, 8 y 10, con NaOH o HNO₃, se

agitó por una hora, se centrifugó a 3000 rpm, el sobrenadante se filtró con filtros de 0.22 mm y se determinó la concentración final de Cd(II) por espectroscopía de absorción atómica (EAA).

2.6 Efecto de la dosis.

Para estudiar el efecto de la dosis se utilizó una solución de 5 ppm de Cd(II) en 0.1N de NaNO_3 , se adicionó 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 g de andosol, se ajustó el pH a 10, se agitó por una hora, se centrifugó a 3000 rpm, el sobrenadante se filtró y se determinó la concentración de Cd(II) remanente por EAA.

2.7 Efecto de la fuerza iónica.

Para estudiar el efecto de la fuerza iónica se utilizó una solución de 5 ppm de Cd(II) en 0.005N, 0.01N, 0.05N, 0.1N, 0.5N y 1N de NaNO_3 , se adicionó 1 g de andosol, se ajustó el pH de la solución a 10, se agitó por una hora, se centrifugó a 3000 rpm, el sobrenadante se filtró y se determinó la concentración final de Cd(II).

2.8 Efecto del tiempo de contacto.

Para estudiar el efecto del tiempo se utilizó una solución de 5 ppm de Cd(II) en 0.005N de NaNO_3 , se adicionó 1 g de andosol, se ajustó el pH de la solución a 10, se agitó por 5, 10, 15, 30, 60, 120 y 240 min, cada tubo se centrifugó, el sobrenadante se filtró y se determinó la concentración final de Cd(II).

2.9 Efecto de la concentración de Cd(II)

Para estudiar el efecto de la concentración se utilizaron soluciones de

1 ppm, 2 ppm, 3ppm, 4ppm, 5ppm, 6 ppm, 7ppm, 8 ppm, 9 ppm y 10 ppm de Cd(II) en 0.005N de NaNO_3 , se adicionó 1 g de andosol, se ajustó el pH de la solución a 10, se agitó por una hora, se centrifugó a 3000 rpm, el sobrenadante se filtró y se determinó la concentración final de Cd(II) por EAA.

El porcentaje de adsorción se determinó mediante la ecuación (1), mientras que la capacidad de adsorción mediante la ecuación (2):

$$\% \text{adsorción} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_f)}{m} V \quad (2)$$

2.10 Modelos de ajuste

2.10.1 Modelo de Pseudo primer orden

Propuesto para procesos de adsorción en sistemas sólido-líquido, se basa en la capacidad de adsorción del sólido, está dado por la ecuación (3):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

q_e y q_t son las capacidades de adsorción (mg g^{-1}) en el equilibrio y al tiempo t , y k_1 es la constante de velocidad de pseudo primer orden [23].

2.10.2 Modelo de Pseudo segundo orden

Considera que la adsorción se produce sobre dos sitios del sólido, está dado por la ecuación (4):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (4)$$

donde q_e y q_t son las capacidades de adsorción (mg g^{-1}) en el equilibrio y al tiempo t y k_2 es la constante de velocidad de pseudo segundo orden [23].

2.10.3 Modelo de Freundlich

Basado en la adsorción sobre una superficie energéticamente heterogénea, su expresión está dada por la ecuación (5).

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (5)$$

q_e es la capacidad de adsorción (mg g^{-1}) en el equilibrio, K_F es la constante

de Freundlich y n es un indicador de la afinidad de adsorción [24].

2.10.4 Modelo de Langmuir

Válido para la adsorción sobre superficies con un número finito de sitios energéticamente homogéneos. Se expresa por la ecuación (6):

$$q_e = \frac{q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (6)$$

q_e y q_{\max} representan la capacidad de adsorción (mg g^{-1}) en el equilibrio y máxima, C_e es la concentración (mg L^{-1}) en el equilibrio y K_L es la constante de Langmuir [24].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización físico-química

El suelo presenta un pH ácido al igual que otros suelos de origen volcánico [10], el porcentaje de humedad es considerable, la densidad real es baja

(Tabla 1), y al contrario de otros andosoles el contenido de materia orgánica es bajo, particularidad que le otorga su potencial uso directo como material adsorbente.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del andosol ubicado en san José de Achotillo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	6.60
Conductividad eléctrica	ms cm^{-1}	17.58
Carbono orgánico total	%	1.05
Humedad	%	47.11
Densidad real	g ml^{-1}	1.05
Capacidad de intercambio catiónico	$\text{meq } 100\text{g}^{-1}$	13.24
Cadmio	mg kg^{-1}	0.1
Niquel	mg kg^{-1}	5.26
Plomo	mg kg^{-1}	5.62

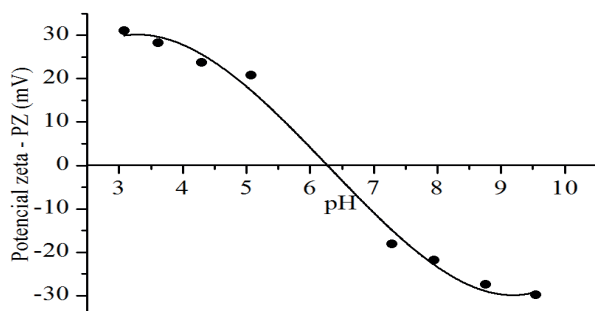
Fuente: Autores

3.2 Carga superficial

El punto isoeléctrico se encuentra alrededor de 6.3 (Figura 2), las partículas del andosol poseen carga posi-

tiva por debajo de este pH y negativa por encima de ese valor, lo que lo hace apto para la adsorción tanto de cationes como aniones.

Figura 2. Punto isoeléctrico (PIE) del andosol en 1×10^{-3} M de NaNO_3



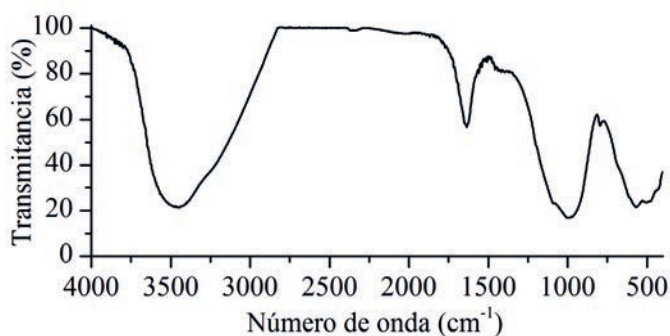
Fuente: Autores

3.3 Espectroscopía Infrarroja (IR)

El análisis por espectroscopía IR (Figura 3), muestra las señales caracte-

rísticas de alofán [6], [25], lo que indica el predominio de esta nanopartícula en el andosol estudiado y el bajo contenido de materia orgánica.

Figura 3. Espectro infrarrojo del andosol



Fuente: Autores

La banda a 3450 cm^{-1} corresponde a la vibración de estiramiento de los grupos $-\text{OH}$ estructurales así como a los grupos $-\text{OH}$ libres de agua adsor-

bida. La banda a 1637 cm^{-1} corresponde a la vibración de flexión angular de las moléculas de agua adsorbidas en el alofán.

Las bandas con máximos a 1035 cm^{-1} y 543 cm^{-1} corresponden a las vibraciones superpuestas de los estiramientos de los enlaces Fe-O, Si-O y Al-O, así como a los grupos Si-O-Al, Fe-O-Al, Si-O-Si y a las vibraciones de flexión de los enlaces Fe-O-H, Si-O-H y Al-O-H [26].

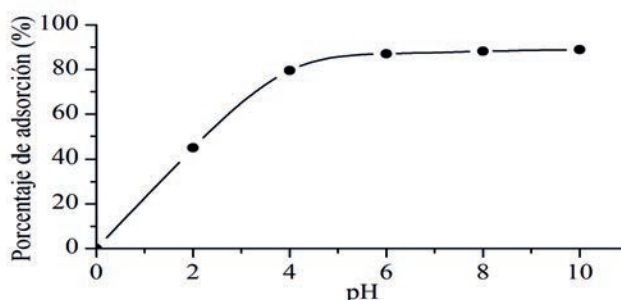
Los óxidos de hierro presentes en estos suelos muestran bandas alrededor de 930 cm^{-1} debidas a las vibraciones de

estiramiento de los enlaces Fe-O, en este caso, estas bandas están superpuestas con las vibraciones: Si-O y Al-O [25].

3.4 Efecto del pH

La adsorción aumenta a medida que aumenta el pH (Figura 4). El aumento en la adsorción se debe a que la carga negativa del sólido incrementa con el pH lo cual hace más favorable la adsorción del cadmio cargado positivamente.

Figura 4. Efecto del pH en la adsorción de cadmio



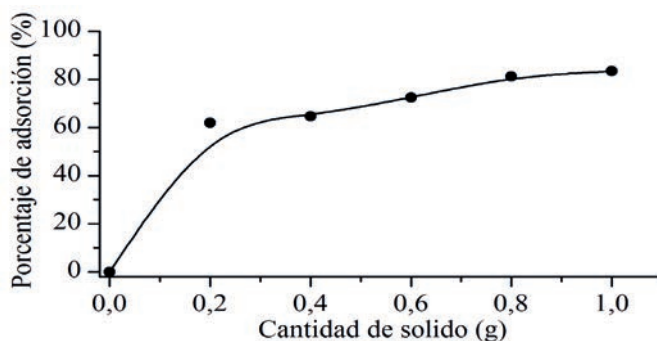
Fuente: Autores

3.5 Efecto de la dosis

La adsorción incrementa a medida que incrementa la dosis del sólido (Fi-

gura 5) esto se debe a que se incrementan los sitios activos disponibles para que se produzca la adsorción.

Figura 5. Efecto de la dosis en la adsorción de Cd



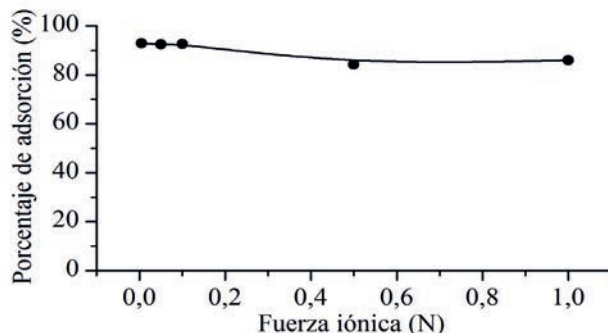
Fuente: Autores

3.6 Efecto de la fuerza iónica

La adsorción disminuye ligeramente a medida que aumenta la fuerza iónica.

ca (Figura 6) lo cual indica que no predomina la competencia entre los iones del electrolito y los iones cadmio por los sitios de adsorción.

Figura 6. Efecto de la fuerza iónica en la adsorción de cadmio



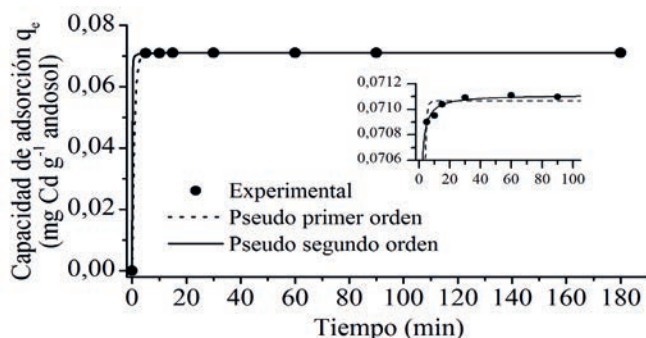
Fuente: Autores

3.7 Cinéticas de adsorción

La adsorción incrementa rápidamente durante los primeros 20 minutos de agitación y luego ligeramente, alcanzando un valor constante a los 60 minutos (Figura 7). Esto se debe a que la adsorción en primera instancia ocurre en los sitios superficiales externos más disponibles a los iones en solución y luego en los sitios internos.

minutos (Figura 7). Esto se debe a que la adsorción en primera instancia ocurre en los sitios superficiales externos más disponibles a los iones en solución y luego en los sitios internos.

Figura 7. Efecto del tiempo de contacto en la adsorción de cadmio



Fuente: Autores

El modelo que mejor describe los datos experimentales es el modelo de pseudo segundo orden (Tabla 2), esto

indica que la adsorción de los iones cadmio se produce sobre dos sitios de adsorción.

Tabla 2. Parámetros de los modelos cinéticos.

Pseudo 1er orden		Pseudo segundo orden	
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
K_1	1.21	K_2	857
Q_e	0,071	q_e	0,071
R^2	1.00	R^2	1.00

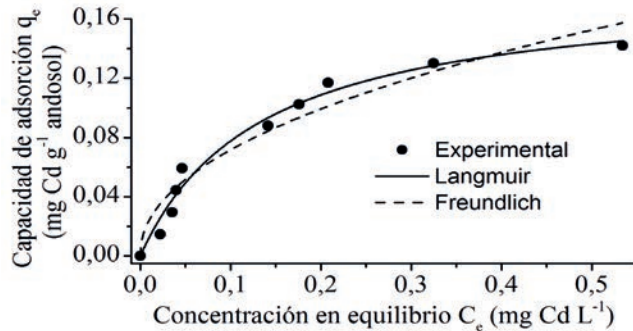
Fuente: Autores

3.8 Isotermas de adsorción

La capacidad de adsorción incrementa a medida que aumenta la con-

centración de cadmio en solución (Figura 8).

Figura 8. Efecto de la concentración en la adsorción de cadmio



Fuente: Autores

El modelo que mejor describe los datos experimentales es el modelo de Langmuir (Tabla 3), la capacidad de ad-

sorción máxima coincide con la experimental y el R^2 es cercano a 1.

Tabla 3. Parámetros de los modelos de adsorción

Langmuir		Freundlich	
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
q_{max}	0.181	n	2.13
K_l	7.48	K_f	0,21
R^2	0.98	R^2	0.93

Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

El andosol de la comunidad de San José de Achotillo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas adsorbe cadmio en solución.

El incremento del pH, cantidad de sólido, tiempo de agitación y concentración incrementan la capacidad de adsorción.

El efecto de la fuerza iónica, y el mejor ajuste obtenido con el modelo de pseudo segundo orden y el modelo

de Langmuir indican que la adsorción es principalmente de tipo químico, o quimisorción. La adsorción de los iones cadmio se produciría sobre dos sitios activos del sólido que corresponden a grupos -OH neutros o cargados negativamente -O⁻ en función del pH.

El andosol puede servir como un material adsorbente obtenido de manera económica.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), al Instituto de Investigaciones de la Escuela Superior Politéc-

nica de Chimborazo y al laboratorio de físico-química de suelos de la Universidad de Santiago de Chile.

REFERENCIAS

- [1] FAO, *Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Union Europea, 2014.
- [2] M. Calvache, "Manejo sostenible de los suelos del Ecuador," in *VII Congreso Sudamericano de Agronomía, Guayaquil*, 2015.
- [3] A. Gonzales, "Los suelos del Ecuador," in *XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo; Cusco, Noviembre 9-15*, 2015.
- [4] A. Gonzalez, "Suelos de Ecuador," in *1er Taller Latinoamericano Globalsoilmap.net, Rio de Janeiro, Septiembre 06-08*, 2010.
- [5] Y. Adachi, S. Koga, M. Kobayashi, and M. Inada, "Study of colloidal stability of allophane dispersion by dynamic light scattering," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 265, no. 1–3, pp. 149–154, 2005.
- [6] C. Levard, E. Doelsch, I. Basile-Doelsch, Z. Abidin, H. Miche, A. Masion, and J. Rose, "Structure and distribution of allophanes, imogolite and proto-imogolite in volcanic soils," *Geoderma*, vol. 183–184, pp. 100–108, 2012.
- [7] P. Nutrition, "Quantification of allophane from ecuador," vol. 58, pp. 707–716, 2010.
- [8] M. Cea, J. Seaman, A. Jara, M. Mora, and M. Diez, "Kinetic and thermodynamic study of chlorophenol sorption in an allophanic soil," *Chemosphere*, vol. 78, pp. 86–91, 2010.
- [9] T. Woignier, F. Fernandes, M. Jannoyer-Lesueur, and A. Soler, "Sequestration of chlordecone in the porous structure of an andosol and effects of added organic matter: an alternative to decontamination," *Eur. J. Soil Sci.*, vol. 63, pp. 717–723, 2012.
- [10] B. Prado, C. Duwig, C. Hidalgo, K. Müller, L. Mora, E. Raymundo, and J. D. Etchevers,

- "Transport, sorption and degradation of atrazine in two clay soils from Mexico: Andosol and Vertisol," *Geoderma*, vol. 232–234, pp. 628–639, 2014.
- [11] D. Njopwouo, E. Djoufack, and J. Mermoz, "A fixed-bed column for phosphate removal from aqueous solutions using an andosol-bagasse mixture," *J. Environ. Manage.*, vol. 151, pp. 450–460, 2015.
- [12] W. D'Alessandro, S. Bellomo, and F. Parelo, "Applied Geochemistry Fluorine adsorption by volcanic soils at Mt. Etna, Italy," *Appl. Geochemistry*, vol. 27, pp. 1179–1188, 2012.
- [13] M. Ishiguro, T. Makino, and Y. Hattori, "Sulfate adsorption and surface precipitation on a volcanic ash soil (allophanic andisol)," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 300, no. 2, pp. 504–510, 2006.
- [14] Y. Onodera, S. Sunayama, A. Chatterjee, T. Iwasaki, T. Satoh, T. Suzuki, and H. Mimura, "Bactericidal allophanic materials prepared from allophane soil II. Bactericidal activities of silver/phosphorus – silver-loaded allophanic specimens," *Appl. Clay Sci.*, vol. 18, no. 3–4, pp. 135–144, 2001.
- [15] E. Garrido-Ramírez, J. Marco, N. Escalona, and M. Ureta-Zañartu, "Preparation and characterization of bimetallic Fe-Cu allophane nanoclays and their activity in the phenol oxidation by heterogeneous electro-Fenton reaction," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 225, pp. 303–311, 2016.
- [16] H. Nishikiori, N. Kanada, R. Agus, K. Morita, K. Teshima, and T. Fujii, "Photoelectrochemical properties of dye-dispersing allophane – titania composite electrodes," *Appl. Clay Sci.*, vol. 107, pp. 138–144, 2015.
- [17] J. Cervini-Silva, A. Nieto, V. Gómez, S. Kaufhold, and B. Theng, "The anti-inflammatory activity of natural allophane," *Appl. Clay Sci.*, vol. 105–106, pp. 48–51, 2015.
- [18] S. Kaufhold, A. Kaufhold, R. Jahn, S. Brito, R. Dohrmann, R. Hoffmann, H. Gliemann, P. Weidler, and M. Frechen, "A new massive deposit of allophane raw material in Ecuador," *Clays Clay Miner.*, vol. 57, no. 1, pp. 72–81, 2009.
- [19] S. Kaufhold, R. Dohrmann, Z. Abidin, T. Henmi, N. Matsue, L. Eichinger, A. Kaufhold, and R. Jahn, "Allophane compared with other sorbent minerals for the removal of fluoride from water with particular focus on a mineable Ecuadorian allophane," *Appl. Clay Sci.*, vol. 50, pp. 25–33, 2010.
- [20] J. Cervini-Silva, V. Gomez-Vidales, M. T. Ramirez-Apan, E. Palacios, A. Montoya, S. Kaufhold, Z. Abidin, and B. K. G. Theng, "Lipid peroxidation and cytotoxicity induced by respirable volcanic ash," *J. Hazard. Mater.*, vol. 274, pp. 237–246, 2014.
- [21] R. Hunter, *Zeta potential in colloid science principles and applications*. London: Academic Press Ltd, 1981.
- [22] A. Delgado, F. Gonzáles, R. Hunter, L. Koopal, and J. Lyklema, "Measurement and interpretation of electrokinetic phenomena," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 309, no. 2, pp. 194–224, 2007.
- [23] K. L. Tan and B. H. Hameed, "Insight into the adsorption kinetics models for the removal of contaminants from aqueous solutions," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 74, pp. 25–48, 2017.
- [24] K. Y. Foo and B. H. Hameed, "Insights into the modeling of adsorption isotherm systems," *Chem. Eng. J.*, vol. 156, pp. 2–10, 2010.
- [25] M. de la L. Mora, "Síntesis, caracterización y reactividad de un suelo alofánico modelo (Tesis doctoral)," Universidad de Santiago de Chile, Chile, 1992.
- [26] E. Hanudin, S. Sukmawati, B. Radjagukguk, and N. Widya, "The effect of humic acid and silicic acid on P adsorption by amorphous minerals," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 20, pp. 402–409, 2014.

Analysis and application of a permanent magnet generator for a wind energy system

Análisis y aplicación de un generador de imanes permanentes para un sistema de energía eólica

M. Rodríguez¹, M. León², D. Cárdenas³, C. Chávez⁴, G. Ampuño⁵

Abstract: This paper illustrates the design, analysis and implementation of a neodymium permanent magnet generator for later use as an horizontal-axis wind turbine. A three-dimensional design software was used for construction of the parts. The permanent neodymium magnets on the rotor generate a constant magnetic field. After designing and building the device, functionality tests were performed. We expected a induced terminal voltage of $25\text{ V} \pm 2\text{ V}$ from theoretical calculations. After performing various operating tests with zero load and with different resistive, capacitive and inductive loads, we measured a terminal voltage of 25.90 V with a phase current of 4 A , 600 r/min at 60 Hz .

Keywords: generator; permanent magnet; constant magnetic field.

Resumen: Este trabajo ilustra, el diseño, análisis e implementación de un generador de imanes permanentes de neodimio para uso posterior como aerogenerador de eje horizontal. Se utilizó un software de diseño tridimensional (AutoDesk Inventor) para la simulación y construcción de las piezas. Los imanes permanentes de neodimio en el rotor generan un campo magnético constante. Después de diseñar y construir el dispositivo, se realizaron pruebas de funcionalidad. Se esperaba una tensión terminal inducida de $25\text{ V} \pm 2\text{ V}$ de los cálculos teóricos. Después de realizar diversas pruebas de funcionamiento con carga cero y con diferentes cargas resistivas, capacitivas e inductivas, se midió una tensión de terminal de 25.90 V con una corriente de fase de 4 A , 600r/min a 60 Hz .

Palabras clave: Generador, imanes permanentes, campo magnético constante.

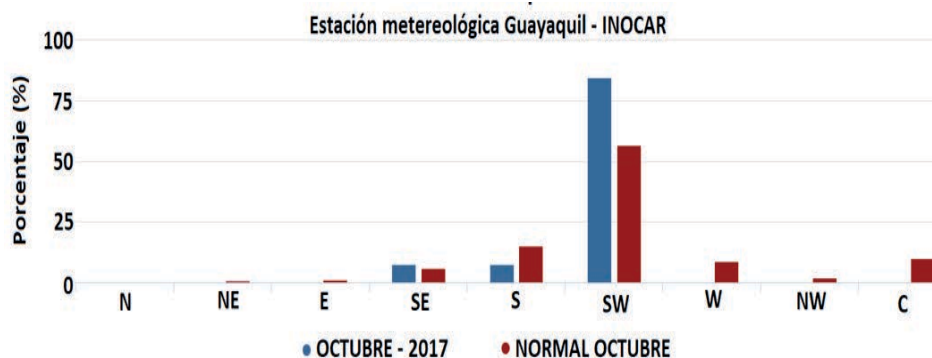
-
- 1 Manuel Rodríguez, Ingeniero Eléctrico, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, mrodriguezsa@est.ups.edu.ec
 - 2 Michael León, Ingeniero Eléctrico, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, mleony@est.ups.edu.ec
 - 3 David Cárdenas, Master Universidad en tecnológicas y Sistemas de Comunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador, dcardenasv@ups.edu.ec
 - 4 Carlos Chávez, Ingeniero Eléctrico, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, cchavez@ups.edu.ec
 - 5 Gary Ampuño, Master en Automatización y Control Industrial, Universidad Politécnica Salesiana, gampuno@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

El cuidado del medio ambiente, la viabilidad financiera y el consumo de energía han fomentado el uso de energías renovables como el viento, el sol, las biomasas, entre otras. Por esta razón, se analizan diseños de prototipos de generadores que aprovechen las energías renovables. La tendencia de consumo de energía revela el crecimiento de la demanda energética a nivel nacional e internacional [1] En la actualidad el Gobierno del Ecuador ha definido en su proyecto de Cambio de la Matriz Energética que para el 2030 la generación de energía eléctrica va a ser predominada por la producción de energías hidroeléctricas y de fuentes

renovables alternativas, teniendo como fuentes renovables entre el 80% y 90% de la electricidad generada como se da a conocer en [2]. Teniendo en cuenta lo antes planteado, se opta realizar un estudio que permita obtener los índices de vientos que cruzan a la ciudad de Guayaquil y ver cuáles son sus mayores velocidades en un periodo de 10 meses. Estos datos están abiertos al público en la página de web del instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) [3]. Los datos sugieren que los vientos con mayor velocidad provienen de la dirección Sureste (SW). Como se presentan en la Fig.1, los vientos registrados el mes de septiembre.

Figura 1. Frecuencia de vientos predominantes



Fuente: INOCAR [3]

Siendo así, el presente trabajo describe la construcción de un prototipo de generador con excitación de imanes permanentes de Neodimio, el cual, fue sometido a pruebas en vacío y con carga dentro del laboratorio de motores y gene-

radores de la Universidad Politécnica Salesiana. Este dispositivo servirá para su uso posterior como turbina eólica de baja potencia [4]- [7]. El documento presentado a continuación se detalla el desarrollo que, teniendo este trabajo, los resultados

y las conclusiones que se han obtenido del mismo, además de los conocimien-

tos teóricos que lo fundamentan, para la comprensión total del proyecto.

2. FUNDAMENTOS Y CONTRUCCIÓN

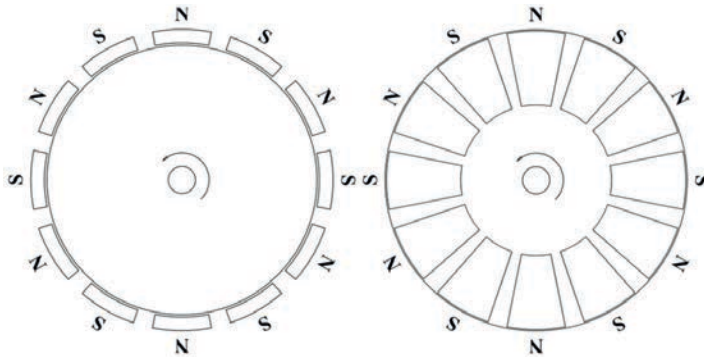
En el presente capítulo, se presentan los fundamentos principales de los generadores, esto con el fin de emplear las fórmulas que permitieron diseñar el prototipo. Para el generador se definieron los siguientes parámetros de construcción: Generador trifásico síncrono, Voltaje de fase de salida 25VDC, 4 amperios de corriente de fase, campo magnético 1 a 1,3 Teslas y frecuencia eléctrica 60Hz. Con los parámetros definidos, se calculan los números de po-

los que tendrá el generador, mediante la Eq. 1. se definen la cantidad de 6 pares de polos, es decir, se colocan 12 imanes con campo magnético permanente son colocados como se muestra en la Figura 2. [8], [9]

$$pp = f \cdot 60 / n \quad (1)$$

Donde pp son los pares de polos, f es la frecuencia eléctrica en Hz y n es la velocidad mecánica del campo magnético en rpm.

Figura 2. Distribución de imanes permanentes en maquinas de a) flujo radial y b) Flujo axial



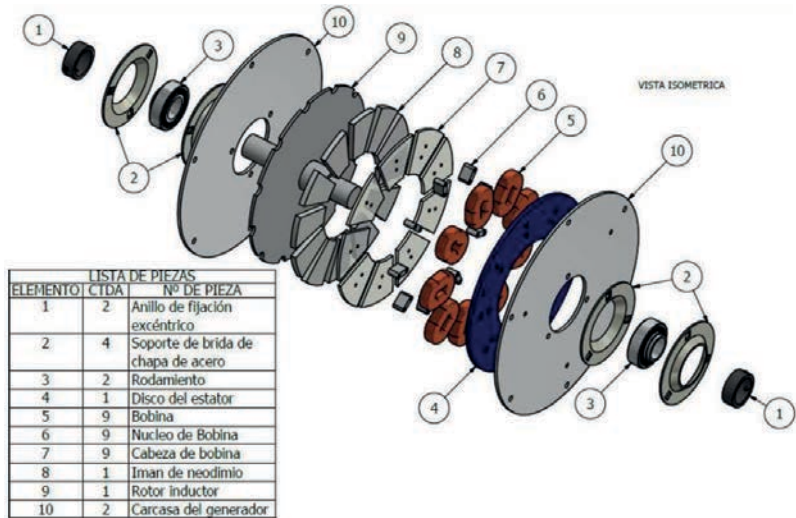
Fuente: Autores

El campo magnético que será proporcionado por imanes permanentes, se analizaron características como forma geométrica y costos, teniendo como resultado los imanes permanentes de Neodimio grado N-42.

Una vez seleccionados los imanes, tomando las dimensiones de es-

tos, mediante software se comienza a diseñar las partes del generador y su acople al motor previo a su construcción en la Figura 3 es presentada una vista isométrica del diseño final de las partes que conforman el generador.

Figura 3. Vista isométrica del generador tipo axial



Fuente: Autores

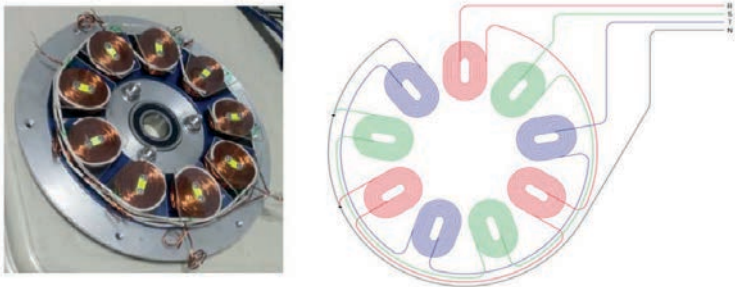
El siguiente paso es definir el número de bobinas que deben ser incluidas en el generador, para ello es empleada la Eq. 2. Obteniendo como resultado una cantidad de 9 bobinas. La salida requerida es un voltaje trifásico, por tal motivo, se divide la cantidad de bobinas por fase son 3.

$$Nb=3/4*p \tag{2}$$

Donde *Nb* es el número de bobinas y *p* es el número de polos.

El número de espiras es calculado mediante la Eq. 3. En la cual se detalla el voltaje requerido por bobina, siendo el voltaje de salida del generador el voltaje total de cada bobina por línea conectadas en serie, cada bobina debe tener este voltaje dividido para 3 como se muestra en la Figura 3, de esta manera cada devanado debe generar 8,3V aproximadamente.

Figura 4. Construcción y conexiones de las bobinas



Fuente: Autores

Como se detalla en [10] Para lograr este voltaje se calcula el número de espiras mediante la Eq. 3.

$$N_{\text{esp}} = V_{\text{requerido}} / \phi_{\text{max}} * \omega \quad (3)$$

Como resultado cada bobina debe estar formada por una cantidad de 75 vueltas. Una vez colocadas las 9 bobinas, estas son colocadas con una conexión trifásica estrella, la cual, permite generar un voltaje favorable aún teniendo bajas revoluciones. Una vez hecha la conexión, se realizan pruebas de corto circuito para evitar fallas en las pruebas del generador.

Una vez concluido el ensamblaje del generador de imanes permanentes

de neodimio, vemos sus particularidades como: el generador está formado por un estator, el cual, está constituido de 9 bobinas, 3 por cada fase conectadas en estrella trifásica. Cada bobina tiene un núcleo de hierro para captar el campo magnético que produce el rotor.

El rotor está formado por un grupo de 12 imanes de Neodimio N-42, estos son los polos magnéticos del generador. Los imanes permanentes introducen campo magnético constante al estator para producir la fuerza electromotriz fem o Voltaje requerido, determinado por la ley de Faraday mostrada en la Eq. 4.

$$e_{\text{ind}} = -N * dy/dt \quad (4)$$

3. PRUEBAS

Una vez construido el generador, se realizan pruebas en vacío para verificar el correcto funcionamiento.

3.1 Pruebas en vacío del generador

Las pruebas en vacío permiten analizar si la salida trifásica se encuentra balanceada. Para tener datos confiables, se tendrá como entrada la velocidad controlada de un motor Hampden DYN-400, el cual, varía su velocidad mediante el campo del motor. En la Figura 5 se muestra la conexión del motor y el acople con el generador, el cual, tiene conectado un analizador de red para capturar los datos de Voltaje, Corriente y potencia. Las pruebas se realizan variando la velocidad del motor en rpm incrementando 50 rpm en cada prueba.

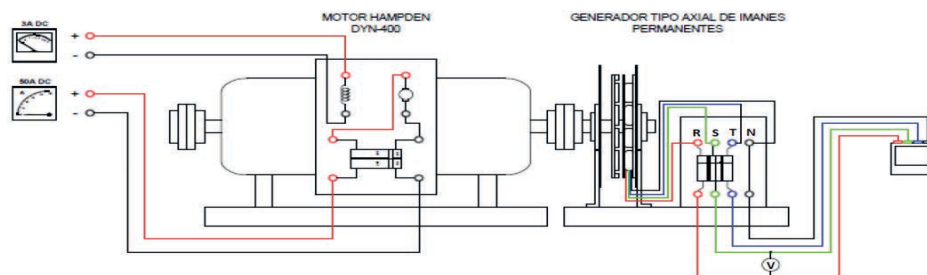
Los datos obtenidos son el torque aplicado [N m] en el generador, por medio de una balanza que se encuentra acoplada en el juego motor – generador. Así también los voltajes Línea- Neutro (V L-N) y Voltajes Línea – Línea (V L-L). La Tabla 1 muestra los resultados de las pruebas realizadas, mediante las cuales, se obtienen los valores de las constantes K1 que es la relación entre el V L-L y el V L-N, K2 representa la operación de constante magnética y K3 constante sincrónica.

$$K1 = V_{\text{line-line}} / V_{\text{line-neutral}} \quad (5)$$

$$K2 = fem / \omega \quad (6)$$

$$K3 = n/f \quad (7)$$

Figura 5. Conexión de las pruebas en vacío



Fuente: Autores

Los valores obtenidos se presentan en la Figura 6. Las pruebas al ser realizadas en vacío y con un control de velocidad óptimo, los voltajes de salida presentan una tendencia lineal.

3.2 Pruebas con carga en el generador

Para medir el rendimiento del generador, se realizan pruebas con carga. La conexión de las pruebas con carga se muestra en la Figura 7. La carga seleccionada es la resistiva que puede ir de 0 a 100 ohmios (ver Tabla 1). La frecuencia y velocidad aplicada al generador permanecerán constantes y se medirá la corriente de fase.

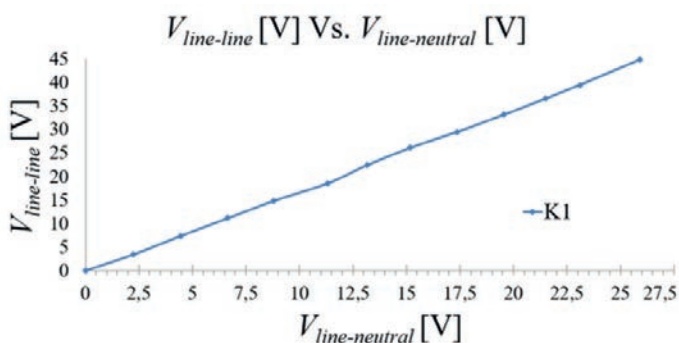
Las pruebas realizadas se emplean para hallar la impedancia sincrónica Eq. 3 y el porcentaje de rendimiento del generador Eq.4.

$$Z_s = (fem - V_f) / i_f \quad (4)$$

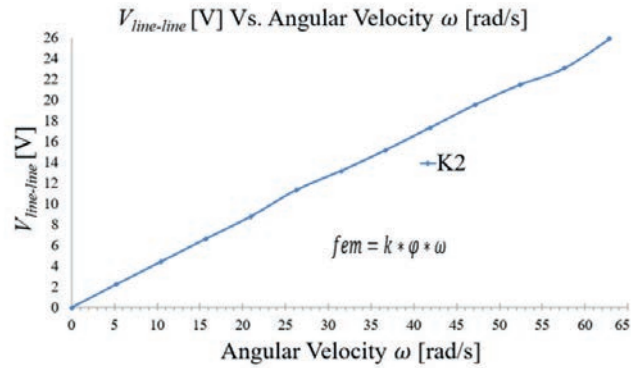
$$\%n = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{Potencia en el eje}} \quad (5)$$

Los resultados de las pruebas muestran que el generador al alcanzar el 60,19% de rendimiento se satura, es decir, que comienza a decrecer su funcionamiento. Por ello, se define como potencia final del generador debe ser máximo de 226,92 vatios.

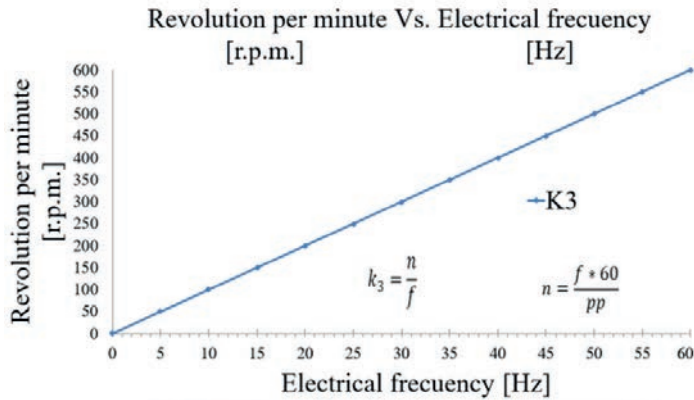
Figura 6. Respuestas del generador con pruebas en vacío



a) Obtención de la constante de relación entre V L-L y el V L-N



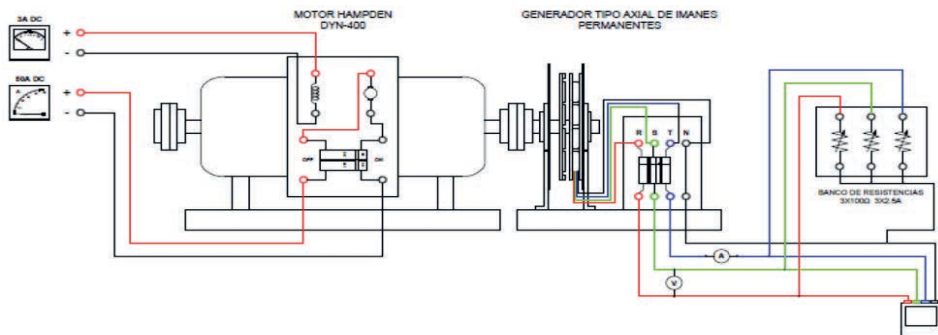
b) Obtención de la constante de operación de constante magnética



c) Obtención de la constante sincrónica del generador.

Fuente: Autores

Figura 7. Conexión de las pruebas con carga



Fuente: Autores

Tabla 1. Pruebas con carga

Carga resistiva [Ω]	Impedancia Sincrónica [Ω]	Potencia Eléctrica [W]	Potencia en el eje [W]	%n Rendimiento del generador
100	0,79	19,66	118,12	16,64
50,1	1,08	38,39	135,09	28,42
32,71	1,2	56,66	150,8	37,57
23,32	1,25	77,5	175,93	44,05
19,19	1,32	91,15	188,5	48,36
15,53	1,33	107,91	207,35	52,04
10,99	1,47	142,26	245,04	58,06
5,12	1,74	217,9	362,54	60,1
4,63	1,77	226,92	376,99	60,19
3,18	1,98	238,42	431,03	55,31

Fuente: Autores

4. DISCUSIÓN

Al finalizar este proyecto, podemos declarar que se obtuvieron los resultados esperados del proyecto, ya que el generador pasó las pruebas de funcionamiento en el laboratorio, logrando obtener el voltaje esperado 25,9V por fase.

Se realizaron un conjunto de pruebas que permiten observar el comportamiento del generador con diversos tipos de carga, pero estos se efectuaron únicamente de manera educativa debido a que al momento de la aplicación eólica la maquina no estará sujeta directamente a carga, ya que primero la señal deberá rectificarse para acumular la energía en baterías y mediante un inversor finalmente alimentar a una carga programada.

Al emplear un número elevado de polos, se ha podido conseguir que la

maquina pueda generar energía a partir de bajas velocidades de viento, ya que en mediciones realizadas en la terraza del bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana y utilizando datos estadísticos del Instituto Oceanográfico de la Armada hemos notado velocidades promedio entre 2,5 m/s y 4m/s.

De acuerdo a los cálculos realizados se pudo observar que el voltaje inducido en las bobinas del estator es proporcional al número de espiras de las bobinas y a la inducción magnética en el entrehierro.

Debido al diseño del generador como prototipo educativo las potencias obtenidas a la salida del mismo no fueron muy elevadas, por lo que no se recomienda para la generación de energía a grandes escalas.

Después de terminar este proyecto, fueron obtenidos los resultados esperados. El generador pasó las pruebas de rendimiento en el laboratorio obteniendo el voltaje con el que fue diseñado el generador siendo de 25.9 V por fase.

Se realizó un conjunto de pruebas para observar el comportamiento del generador con varios tipos de cargas. Sin embargo, esto se hizo con fines educativos. Dado que, durante las aplicaciones de energía eólica, el generador no está sujeto a una carga directamente. Para poderlo aplicar en casos reales, en primer lugar, la señal debe ser rectificada para almacenar la energía en las baterías y con un inversor de alimentación en una carga preestablecida.

Mediante el uso de un número creciente de polos, el dispositivo es capaz de generar energía a bajas velocidades del viento. Durante las mediciones en

la terraza del edificio B de la Universidad Politécnica Salesiana y utilizando datos del Instituto de Oceanografía de la Armada, se observaron velocidades promedio entre 2,5 m/sy 4 m/s.

De acuerdo con los cálculos, observamos que el voltaje inducido en las bobinas del estator es proporcional al número de vueltas y a la inducción magnética del núcleo de hierro.

Este generador fue construido como un prototipo educativo. Como tal, su potencia de salida no está diseñado para aplicaciones industriales. Por esta razón, no es recomendado el uso de este generador para proyectos de gran envergadura. Para trabajos futuros, se podrá construir un prototipo más grande capaz de aplicaciones industriales.

La Tabla 2 muestra los resultados de la caracterización del prototipo generador.

Tabla 2. Especificaciones del generador

<i>I_{max}</i>:	5 A	<i>pp</i>:	6
<i>V_{max}</i>:	25.9 V	<i>f</i>:	60 Hz
<i>P</i>:	226.92 W	<i>ω</i>:	600 rpm
<i>% η</i>:	60.19 %	<i>Zs</i>:	- 1.98

Fuente: Autores

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que este tipo de generador no requiere mantenimiento considerable, pero puede resultar en una disminución en la eficiencia debido a la pérdida mecánica como resultado de la fricción de los cojinetes

del generador. Por esta razón, se recomienda realizar comprobaciones periódicas de estas piezas. Las bobinas se someten a la *fem* inducida por los imanes permanentes, que produce corrientes parásitas.

Se aconseja que los diseños futuros utilicen núcleos de hierro laminado delgado para disminuir estas corrientes o el uso de otros diseños que no requieran núcleos en el interior del dispositivo. Se propone disminuir la distancia entre el rotor induc-

tivo y el estator mediante la construcción de una máquina estrecha. Esto también aumentará el campo magnético en las bobinas. Cuando se instala el aerogenerador, éste debe estar ubicado donde los vientos midan velocidades superiores a 3,5m/s.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Carrera de Ingeniería Eléctrica de Universidad Poli-

técnica Salesiana por permitir el uso de sus laboratorios y al grupo SMART-TECH.

REFERENCIAS

- [1] "Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita) | Data," *Grupo Banco Mundial*, 2017. [Online]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2014&start=2014&view=map>.
- [2] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, "Matriz energética," *Sect. Estratégicos para el Buen Vivir*, vol. 1, pp. 1–20, 2013.
- [3] "INOCAR - Gráficos de vientos mensual estación Guayaquil -," *Instituto Nacional Oceanográfico de la Armada*, 2017..
- [4] E. Muljadi, A. Wright, V. Gevorgian, J. Donegan, C. Marnagh, and J. McEntee, "Dynamic braking system of a tidal generator," *ECCE 2016 - IEEE Energy Convers. Congr. Expo. Proc.*, pp. 1–5, 2017.
- [5] Y. Wang and Z. Deng, "A Controllable Power Distribution Strategy for Open Winding Hybrid Excitation Generator System," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 32, no. 1, pp. 122–136, 2017.
- [6] M. Islam, A. Islam, S. M. Shaikh, and M. R. I. Sheikh, "Stability Enhancement of Wind Power System by using Energy Capacitor System," no. November, pp. 4–6, 2015.
- [7] Z. Liu, C. Liu, and G. Li, "Power Coordinated Control of Wind Turbines with Permanent Magnet Synchronous Generator for Low Voltage Ride Through," no. 51190103, 2014.
- [8] A. A. Pop, M. M. Radulescu, H. Balan, M. Chirca, and V. Zaharia, "Electromagnetic design and finite-element analysis of an axial-flux permanent-magnet machine," *2014 Int. Conf. Appl. Theor. Electr. ICATE 2014 - Proc.*, pp. 1–4, 2014.
- [9] K. W. Klontz, H. Karmaker, P. Zhong, and R. Rock, "Short-Circuit Analysis of Permanent-Magnet Generators," vol. 47, no. 4, pp. 1080–1087, 2009.
- [10] C. E. Rodríguez Molano, José Ignacio; Montenegro Marín, "Diseño de un Generador de Flujo Axial Usando el Método de Elementos Finitos," vol. 4, no. 2, pp. 37–44, 2015.

Sensitive analysis of production parameters of jatropha and mineral base oils considering the life cycle

Análisis sensitivo de los parámetros de producción de aceites de base de jatropha y mineral considerando el ciclo de vida

P. Gallardo¹

Abstract: *This study focused on a simplified life cycle assessment in the production of 1kg of mineral base oil and 1 kg of Jatropha base oil, through a sensitivity analysis performed in different scenarios. Results shown that in the Jatropha base oil production, the largest contribution for the global warming category was the best Jatropha oil production scenario without allocation of co-products 2,72 kg CO₂-Eq. The alternative mineral oil base production scenario with allocation of aromatic extracts contributes 2,10 kg CO₂-Eq. For the fossil depletion potential, in the Jatropha base oil, the major contribution was the best Jatropha oil production scenario without allocation of co-products 0,90 kg Oil-Eq. The alternative mineral oil base production scenario without allocation of aromatic extracts contributes 2,29 kg Oil-Eq.*

Keywords: *Assumption, environmental categories, life cycle impact assessment, production scenarios.*

Resumen: Este estudio se basa en un análisis simplificado de análisis de ciclo de vida, en la producción de 1kg de aceite de base mineral y 1kg de aceite de base de *Jatropha*, mediante un análisis sensitivo realizado en diferentes escenarios. Los resultados indican que en la producción de aceite de base de *Jatropha* en la categoría de calentamiento global, el escenario mejorado de producción de *Jatropha* sin reutilización de coproductos aporta 2,72 kg CO₂-Eq; dentro de esta categoría el escenario de producción de aceite de base mineral sin reutilización de extractos aromáticos aporta 2,10 kg CO₂-Eq. Para el potencial de consumo de combustibles fósiles, el escenario de aceite de *Jatropha* sin reutilización de coproductos aporta 0,90 kg Oil-Eq. El escenario de producción de aceite de base mineral alterno sin reutilización de extractos aromáticos aporta 2,29 kg Oil-Eq.

Palabras clave: Aceite de base de *Jatropha*, aceite de base mineral, ciclo de vida, análisis sensitivo, reutilización.

1 Pedro Emilio Gallardo Sandoval, Master en Ingeniería Urbana y Ambiental, Biólogo Ambiental, Auditor Free Lance de Sistemas de Gestión de Calidad y Ambiente, pedroemiliogallardosandoval@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El interés por la consciencia ambiental dentro del sector industrial ha ido incrementando mediante la creación de una legislación preventiva y la demanda de procesos y productos amigables con el ambiente [1], lo cual ha llevado a que en las cadenas de producción se considere el concepto de desarrollo sostenible, generando un criterio en el cual se integra y mejoran las variables ambientales, económicas y sociales dentro de la industria [2].

Debido a las características negativas de los aceites de bases minerales en los ecosistemas dado por su consumo incompleto dentro de su ciclo de vida y su uso en las industrias, se ha llegado a

una preocupación general al respecto de su uso [3], [4]; sin embargo debido al incremento en la producción de aceites de bases vegetales, ha sido necesario la ejecución de estudios asociados a los impactos ambientales que se generan en las fases de producción, así como en las fases de extracción de materia prima [5].

El objetivo de este estudio es realizar un análisis de ciclo de vida simplificado (cuna a producción) de la etapa de producción de 1kg de aceite de base mineral y de 1kg de aceite de base de *Jatropha*, utilizando un análisis sensitivo a fin de determinar cuáles son los parámetros más influyentes en su producción.

2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

2.1 Materiales

El presente estudio se llevo a cabo mediante el uso del *software Umberto NXT LCA*, puesto que es una herramienta diseñada específicamente para realizar estudios de ciclo de vida, ya que permite realizar cálculos de los potenciales impactos ambientales de los productos mediante la elaboración de modelos de producción, evaluación y visualización de los impactos ambientales en diferentes categorías sin el uso de tablas [6].

2.2 Metodología

La unidad funcional en la cual se basó este estudio fue 1kg de aceite de

base mineral y 1 kg de aceite de base de *Jatropha*.

Los límites del sistema definidos para la producción de aceite de base de *Jatropha* fueron: cultivo de *Jatropha*, descortezamiento, prensado, transporte del aceite crudo, refinación y transesterificación. Se define que el cultivo de *Jatropha*, descortezamiento y prensado se realizan en la India, la refinación y transesterificación se realiza en Suiza.

Para el caso de la producción del aceite de base mineral, se determinaron los siguientes límites: producción de petróleo, destilación atmosférica, destilación al vacío, desasfaltado, extracción de aromáticos, desparafinado e hidroa-

cabado. Se asumió que el proceso de refinación se llevó a cabo en Europa. El transporte del crudo fue determinado directamente por la variable seleccionada del *software Umberto NXT LCA*.

Para realizar el análisis de los parámetros más influyentes en la producción, se definieron los siguientes escenarios:

1. Escenario base de producción de aceite de base de *Jatropha*, sin reutilización de coproductos.
2. Escenario alternativo de producción de aceite de base de *Jatropha* con reutilización de coproductos.
3. Escenario alternativo de producción de aceite de base de *Jatropha* con sulfato de amonio como fuente de nitrógeno.
4. Escenario alternativo de producción de aceite de base de *Jatropha* con cloruro de potasio como K₂O.
5. Escenario alternativo de producción de aceite de base de *Jatropha* con reutilización de coproductos.
6. Escenario alternativo de producción de aceite de base de *Jatropha* sin reutilización de glicerina.
7. Escenario alternativo de producción de aceite de base *Jatropha* sin reutilización de semillas y cáscaras.
8. Escenario mejorado de producción de aceite de base de *Jatropha* con reutilización de coproductos.
9. Escenario mejorado de producción de aceite de base de *Jatropha* sin reutilización de coproductos.
10. Escenario base de producción de aceite de base mineral.
11. Escenario alternativo de producción de aceite de base mineral.

12. Escenario alternativo de producción de aceite de base mineral sin reutilización de extractos aromáticos.

13. Escenario alternativo de producción de aceite de base mineral con una mezcla de crudo Suizo.

14. Escenario de producción de aceite de base mineral con una mezcla de crudo proveniente de países del resto de Europa.

Una vez que los escenarios fueron determinados, se establecieron los parámetros de producción, cantidades y suposiciones de producción. Todos los parámetros así como sus inventarios tanto para los escenarios de producción de aceite de base de *Jatropha* y aceite de base mineral, fueron seleccionados del *software Umberto LCA NXT*. Los datos de las cantidades requeridas en la producción de aceite de base mineral fueron tomados de [7]. Los datos de las cantidades requeridas en la producción de aceite de base *Jatropha* se tomaron de [8].

En el proceso de cultivo de *Jatropha* se emplearon los siguientes parámetros, cantidades y suposiciones:

Nitrato de amonio: se seleccionó este parámetro puesto que en la revisión bibliográfica, no fue posible encontrar una fuente específica de nitrógeno. Se asumió que el nitrato de amonio fue la fuente de nitrógeno. El parámetro siguió el inventario de 1999 y la cantidad utilizada fue 48 kg.

Sulfato de potasio como K₂O: se seleccionó este parámetro puesto que en la revisión bibliográfica, no fue posible encontrar una fuente específica de po-

tasio. Se asumió que el sulfato de potasio como K_2O fue la fuente de potasio. Este parámetro siguió el inventario de 1999 y cantidad utilizada fue 53 kg.

Nitrato de fosfato de amonio como P_2O_5 : se seleccionó este parámetro puesto que en la revisión bibliográfica, no fue posible encontrar una fuente específica de fósforo. Se asumió que el nitrato de fosfato de amonio como P_2O_5 fue la fuente de fósforo. La variable siguió el inventario europeo de 1999 y la cantidad utilizada fue 19 kg.

Diesel: se seleccionó este parámetro debido a que en la base de datos del software *Umberto NTX LCA*, no fue posible encontrar una fuente específica de producción diesel con inventario de India. El parámetro siguió el inventario suizo de 1991-2002 y la cantidad utilizada de diesel fue 44 kg.

Irrigación: se seleccionó este parámetro debido a que en la base de datos del software *Umberto NTX LCA*, no fue posible encontrar una fuente específica de producción de agua con datos de India. El parámetro sigue el inventario suizo de 1991-2002 y la cantidad utilizada fue de 49,98 m³.

Producción de electricidad de medio voltaje Polonia: se seleccionó este parámetro debido a que en la base de datos del software *Umberto NTX LCA*, no fue posible encontrar una fuente específica de electricidad con datos de producción de India. Se asumió que la producción de electricidad de medio voltaje en Polonia tiene las mismas características de la producción en India. El parámetro

sigue el inventario de Polonia de 1992-2004. La cantidad usada en el proceso de descortezamiento fue 9 kW/h.

Los parámetros, cantidades y suposiciones utilizados para el proceso de refinado de aceite de base de *Jatropha*, se detallan a continuación:

Producción de electricidad de medio voltaje por la Unión para la Unión para la Coordinación de la Transmisión de Electricidad: se seleccionó este parámetro puesto que se asumió que los procesos de refinado y transesterificación utilizaron electricidad producida por la Unión para la Coordinación de la Transmisión de Electricidad. El parámetro siguió el inventario de 1994-2004. Para el proceso de refinado se utilizó 2,48 kW/h, mientras que para el proceso de transesterificación se utilizó 0,42 kW/h.

Álcali: se seleccionó este parámetro puesto que en la revisión bibliográfica, no fue posible encontrar una fuente específica de álcali en el proceso de refinado. Se asume que la fuente de álcali es hidróxido de sodio al 50% en agua. Esta variable sigue el inventario del 2000. La cantidad utilizada fue 0,99 kg.

Etanol producido a partir de etileno: se seleccionó este parámetro puesto que en la revisión bibliográfica, no fue posible encontrar una fuente específica de etanol para el proceso de transesterificación. Se asumió que la fuente de etanol es el etanol producido a partir de etileno. Este parámetro sigue el inventario de 1986-2005. La cantidad utilizada fue 0,15 kg.

Hidróxido de potasio con almacenamiento regional: se seleccionó este pará-

metro puesto que en la revisión bibliográfica, no fue posible encontrar una fuente específica de KOH. Se asumió que este parámetro fue la fuente de KOH. El parámetro siguió el inventario de 1988-2004. La cantidad utilizada fue 0,03kg.

Reutilización: Se asumió que los coproductos son considerados desechos.

Transporte transoceánico: Se asumió que el transporte de la materia prima se realiza desde la India hasta Suiza, por medio de un transporte transoceánico. Se recorrió una distancia de 6905,57.

Los parámetros empleados en el análisis sensitivo en la producción de aceite de base de *Jatropha*, se detallan a continuación:

Sulfato de amonio como nitrógeno: se seleccionó este parámetro puesto que en la revisión bibliográfica, no fue posible encontrar una fuente específica de nitrógeno en el proceso de cultivo de *Jatropha*. El parámetro siguió el inventario de 1998.

Cloruro de potasio como K₂O: se seleccionó este parámetro puesto en la revisión bibliográfica, no se encontró una fuente específica de potasio para el proceso de cultivo de *Jatropha*. Se asumió que el cloruro de potasio como K₂O, es la fuente de potasio. Este parámetro siguió el inventario del 2000.

No reutilización de cáscaras y pastas: se asumió que las cáscaras y pastas de los procesos de descortezamiento y prensado son considerado desechos.

No reutilización de glicerina: se asumió que la glicerina se considera desecho.

Los parámetros empleados en el análisis sensitivo, mantienen las cantidades detalladas en el escenario base de producción de aceite de base de *Jatropha*, sin reutilización de coproductos.

Los dos escenarios mejorados de producción de *Jatropha*, fueron considerados puesto que se asume que la cantidad y el rendimiento de la producción fueron importantes para el análisis sensitivo. Los valores utilizados son 141 kg de nitrato de amonio como fuente de nitrógeno, 139 kg de sulfato de potasio como K₂O como fuente de potasio, 56 kg de fosfato de nitrato de fósforo como fuente de fósforo, 112,80 kg de diesel, 49 m³ de agua, 9 kW/h de electricidad en el proceso de descortezamiento y 101,25 kW/h de electricidad en el proceso de prensado. Se asumió que la cantidad de álcali utilizada fue 1,18 kg. Para el KOH se asumió una cantidad de 0,30 kg, la cantidad de etanol usada fue de 0,15 kg. La electricidad usada para el proceso de refinado fue de 2,49 kW/h y en el proceso de transesterificación la cantidad de electricidad usada fue de 0,42 kW/h.

Los parámetros, cantidades y suposiciones en el escenario base de producción de aceite de base mineral, se detallan a continuación.

Crudo de Nigeria: se seleccionó este parámetro debido a que las importaciones europeas en el 2012 alcanzaron un 40% de crudo nigeriano [9]. Se asumió que después del proceso de refinado de 1 tonelada de crudo nigeriano se obtiene 1 kg de aceite de base mineral, se consideró el inventario de 1992-1994.

Gas quemado en hornos de refinarias: este parámetro se utilizó puesto a que en la revisión de literatura no fue posible encontrar una fuente de calor específica. Se asumió que el proceso de refinado considera el consumo y liberación de gas en refinarias en Europa. La cantidad usada en la destilación atmosférica fue 614 MJ, en la destilación a vacío 614 MJ, en el desasfaltado 159 MJ, en la extracción de compuestos aromáticos 194 MJ, en el proceso de desparafinado 1035 MJ y en el proceso de hidroacabado 383 MJ. El parámetro siguió el inventario de 1980-2000.

Fuel-oil quemado en hornos: Este parámetro se seleccionó debido a que en la revisión de literatura no fue posible encontrar una fuente específica de combustible para el proceso de refinado. Se asumió que el parámetro Fuel-oil quemado en hornos es usado en el proceso de refinado. El parámetro sigue el inventario de 1980-2000. Las cantidades utilizadas fueron para el proceso de destilación atmosférica 26,20 MJ, destilación al vacío 26,20 MJ, desasfaltado 1599 MJ, extracción de compuestos aromáticos 194 MJ, desparafinado 1650 MJ e hidroterminado 375 MJ.

Producción de electricidad de medio voltaje por la Unión para la Unión para la Coordinación de la Transmisión de Electricidad: se seleccionó este parámetro puesto que se asumió que el proceso de refinado utiliza energía provista por la Unión para la Unión para la Coordinación de la Transmisión de Electricidad. El parámetro siguió el inventario de producción de la Unión para la Unión

para la Coordinación de la Transmisión de Electricidad de 1992-2004. Las cantidades utilizadas fueron para el proceso de destilación atmosférica 53,30 MJ, destilación al vacío 52,30 MJ, desasfaltado 60 MJ, extracción de compuestos aromáticos 21 MJ, desparafinado 396 MJ e hidroterminado 117 MJ.

Los parámetros empleados en el análisis sensitivo en la producción de aceite de base mineral, se detallan a continuación:

Mezcla de crudo Ruso, Gran Bretaña y del resto de la región de África: se seleccionó este parámetro debido a que en el año 2012 las importaciones europeas de esta mezcla de crudo alcanzaron un 79 % [10]. Los porcentajes de la mezcla de crudo fueron 50,8 % de crudo Ruso, 25% de crudo de Gran Bretaña y 24,40 % de crudo del resto de África. Se asumió que se considera este crudo para la producción de la base de aceite mineral. El parámetro siguió el inventario de 1992-2004. No se cambiaron las cantidades establecidas en el escenario base de producción de aceite de base mineral.

Mezcla de crudo proveniente del resto de países de Europa: se asumió que esta mezcla de crudo es utilizada para la producción de aceite de base mineral. Los porcentajes utilizados fueron 18,4% de crudo Ruso, 18 % de crudo de Gran Bretaña, 10,8 % de crudo del resto de la región de África, 1,19 % de crudo del resto de la región de Latinoamérica, 3,41% de crudo de Nigeria, 22,5 % de crudo de Noruega y 25,3 % de crudo de la región del Mediterráneo. No se cambiaron las cantidades establecidas en el

escenario base de producción de aceite de base mineral. El dato es proporcionado por el *software Umberto NXT LCA*.

Mezcla de crudo con características de Suiza: se asumió que esta mezcla de crudo es utilizada para la producción de aceite de base mineral. Los porcentajes utilizados fueron 7,4 % de crudo de la región del Mediterráneo, 55,2 % de crudo del resto de la región de África, 37,4 % de crudo de Nigeria. El dato es proporcionado por el *software Umberto NXT LCA*.

Reutilización de extractos aromáticos: este parámetro fue seleccionado debido a que en [7], se establece que la comercialización de estos productos que encuentra bajando.

El método establecido para la realización de la evaluación del impacto de ciclo de vida fue ReCiPe Midpoint (H) w/o LT.

Las categorías de impacto ambiental de este análisis de ciclo de vida fueron potencial de calentamiento global (kg CO₂-Eq) y potencial de consumo de combustibles fósiles (kg oil-Eq).

Los escenarios y los parámetros descritos fueron establecidos en un modelaje, realizado en el *software Umberto NTX LCA*.

La principal limitación de este estudio fue el acceso a los datos específicos en la producción de los aceites de base de *Jatropha* y mineral, debido a las limitaciones geográficas.

3. RESULTADOS

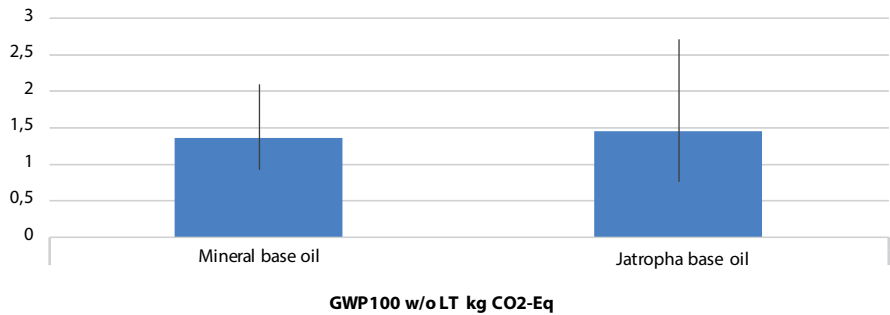
Tabla 1. Aportes en la categoría de calentamiento global, en la producción de aceites de base de *Jatropha* y mineral

ESCENARIO	APORTE
ACEITE DE BASE DE <i>JATROPHA</i>	
Mejorado de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> sin reutilización de coproductos	2,72 kg CO ₂ -Eq
Base de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> , sin reutilización de coproductos	2,49 kg CO ₂ -Eq
Alternativo de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> sin reutilización de semillas y cáscaras	2,27 kg CO ₂ -Eq
Mejorado de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> con reutilización de coproductos	1,33 kg CO ₂ -Eq
Alternativo de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> sin reutilización de glicerina	0,96 kg CO ₂ -Eq
Alternativo de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> con reutilización de coproductos	0,87 kg CO ₂ -Eq
Alternativo de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> con cloruro de potasio como K ₂ O	0,85 kg CO ₂ -Eq
Alternativo de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> con sulfato de amonio como fuente de nitrógeno	0,76 kg CO ₂ -Eq
ACEITE DE BASE MINERAL	
Alternativo de producción de aceite de base mineral sin reutilización de extractos aromáticos	2,10 kg CO ₂ -Eq
Base de producción de aceite de base mineral	1,48 kg CO ₂ -Eq

ESCENARIO	APORTE
Alternativo de producción de aceite de base mineral con una mezcla de crudo de características de Suiza	1,16 kg CO2-Eq
Alternativo de producción de aceite de base mineral	1,06 kg CO2-Eq
Producción de aceite de base mineral con una mezcla de crudo proveniente de países del resto de Europa	0,92 kg CO2-Eq

La Figura 1 muestra una comparación del aporte de kg CO2-Eq, de los escenarios de producción.

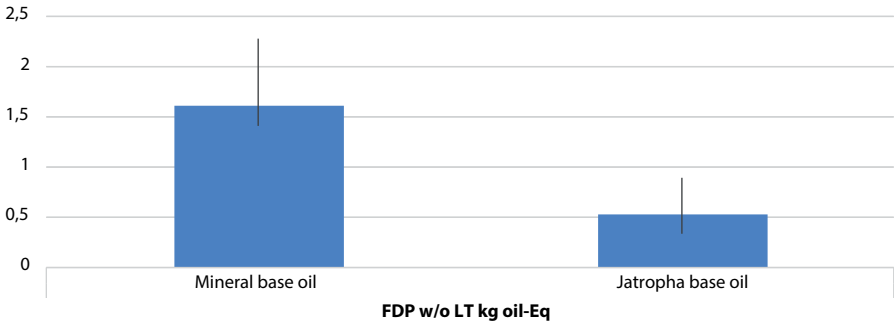
Figura 1. Comparación del aporte de kg CO2-Eq, de los escenarios de producción



Fuente: Autor

La Figura 2 muestra una comparación del aporte de consumo de kg Oil-Eq de los escenarios de producción.

Figura 2. Comparación del aporte de consumo de kg Oil-Eq de los escenarios de producción



Fuente: Autor

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El acceso y falta de datos específicos asociados a los procesos de producción de aceites de bases minerales y de *Jatropha*, fue el mayor limitante al momento de la ejecución del presente análisis de ciclo de vida, sin embargo y acorde a lo expuesto por [11], es posible admitir inexactitudes en la información espacial lo cual permitió asumir los efectos globales asociados a las variables de potencial de calentamiento global y consumo de combustibles fósiles, en los escenarios de producción establecidos.

Mediante la ejecución del presente análisis sensitivo aplicando el uso del análisis de ciclo de vida, fue posible determinar una concordancia con [12]

y [13], puesto que en la etapa de producción de 1kg de aceite de base de *Jatropha* (base vegetal) existen mayores contribuciones asociadas al potencial de calentamiento global. Por otro lado en la categoría de consumo de combustibles fósiles, la producción de 1 kg de aceite de base mineral demostró que posee mayor aporte en la categoría de consumo de combustibles fósiles.

Sin embargo se requiere realizar un estudio de la cuna a la tumba, a fin de determinar cual base posee las mayores contribuciones a lo largo de su ciclo de vida. Además se requiere realizar el estudio con las características de producción de Sudamérica.

Tabla 2. Aportes en la categoría de consumo de combustibles fósiles, en la producción de aceites de base de *Jatropha* y mineral

ACEITE DE BASE DE <i>JATROPHA</i>	
ESCENARIO	APORTE
Mejorado de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> sin reutilización de coproductos	0,90 kg Oil-Eq
Base de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> , sin reutilización de coproductos	0,83 kg Oil-Eq
Alternativo de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> sin reutilización de semillas y cáscaras	0,75 kg Oil-Eq
Mejorado de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> con reutilización de coproductos	0,50 kg Oil-Eq
Alternativo de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> sin reutilización de glicerina	0,39 kg Oil-Eq
Alternativo de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> con reutilización de coproductos	0,35 kg Oil-Eq
Alternativo de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> con sulfato de amonio como fuente de nitrógeno	0,35 kg Oil-Eq
Alternativo de producción de aceite de base de <i>Jatropha</i> con cloruro de potasio como K ₂ O	0,35 kg Oil-Eq
ACEITE DE BASE MINERAL	
Alternativo de producción de aceite de base mineral sin reutilización de extractos aromáticos	2,29 kg Oil-Eq
Base de producción de aceite de base mineral	1,53 kg Oil-Eq
Alternativo de producción de aceite de base mineral	1,47 kg Oil-Eq
Alternativo de producción de aceite de base mineral con una mezcla de crudo de características de Suiza	1,46 kg Oil-Eq
Producción de aceite de base mineral con una mezcla de crudo proveniente de países del resto de Europa	1,42 kg Oil-Eq

REFERENCIAS

- [1] F. de Oliveriva, S Alves, “Adequação Ambiental dos Procesos Usinagem Utilizando Produção Mais Limpa como Estratégia de Gestão Ambiental”, *Produção*, vol 17, enero/abril, 2007, pp. 129-138.
- [2] F. Pusavec, P. Krajnik, J. Kopac, “Transitioning to Sustainable Production – Part I: Application on Machining Technologies”, *Journal of Cleaner Production*, vol 18, Agosto, 2009, pp, 174-184.
- [3] G. Canchumani, “Óleos Lubrificantes Usados: Um Estudo de Caso de Avaliação de Ciclo de Vida do Sistema de Refino no Brasil”, Tesis de Doctorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2013.
- [4] Y. Shashidhara, S. Jayaram, “Vegetable Oils as a Potential Cutting Fluid—An Evolution”, *Tribology International*, vol 43, Febrero, 2010, pp, 1073–1081.
- [5] P. Cuevas, “Comparative Life Cycle Assessment of Biolubricants and Mineral Based Lubricants”, Tesis de Maestría, Escuela de Ingeniería Swanson, Universidad de Pittsburgh, Estados Unidos de Norteamérica, 2010.
- [6] Ifu Hamburg GmbH, “Umberto® NXT LCA User Manual”, Fecha de acceso: 01-02-2014, https://www.ifu.com/fileadmin/user_upload/umberto/Support/SupportDokumente/Umberto_Life_Cycle_Assessment_User_Manual_EN.pdf
- [7] H. Fehrenbach, “Ecological and Energetic Assessment of Re-refining Used Oils to Base Oils: Substitution of Primarily Produced Base Oils Including Semi-synthetic and Synthetic Compounds”, Heidelberg, Institut für Energie und Umweltforschung GmbH, 2005, pp. 1-63.
- [8] G. Reinhardt et al, “Basic data for jatropha cultivation and use”, Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg gGmbH, Heidelberg, recopilación de datos básicos sobre la producción y uso de Jatropha, Versión actualizada, 2008.
- [9] US Energy Information, Administration, Country Analysis Brief Overview, Nigeria, 07/12/2013, <http://www.eia.gov/countries/countrydata.cfm?fips=ni>.
- [10] US Energy Information, Administration, Country Analysis Brief Overview, Russia, 07/12/2013, <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=rs>.
- [11] J. Reap, F. Roman, B. Bras, “A survey of unresolved problems in life cycle assessment”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol 13, Agosto, 2008, pp, 290-300; 374-388.
- [12] M. McManus. “Life Cycle Assessment of Rapeseed and Mineral Oil Based Fluid Power Systems”, Tesis de Doctorado, Univerisidad de Bath, Bath, Inglaterra, 2001.
- [13] S. Miller, A Landis, T Theis, R Reich, “A Comparative Life Cycle Assessment of Petroleum and Soybean-Based Lubricants”, *Environmental Science and Technology* Vol. 41, Junio, 2007, pp, 4143-4149.

Towards a sustainable bioeconomy: an approach from Ecuador

Hacia una bioeconomía sostenible: un enfoque desde Ecuador

D. Ortega-Pacheco¹, A. Silva², A. López³, R. Espinel⁴,
D. Inclán⁵ y M. Mendoza-Jiménez⁶

Abstract: *Sustainable bioeconomy is being revised in tropical megadiverse developing countries. Given competing economic interests and development inequities, biodiversity may require becoming a strategic and central resource in national economies to ensure political feasibility of bioeconomic models. This paper attempts to address the need to document alternative approaches to transition to sustainable bioeconomy in the context of extractive economies in tropical and megadiverse developing countries. Using a case study approach, it reviews the Ecuadorian experience to developing a bio-industry value chain as an institutional arrangement that can enable a more efficient and integrated use of biological resources towards a sustainable and resilient economy, while addressing structural development and biodiversity protection challenges. Knowledge generated from this research can assist policymakers working on optimal design of instruments aiming at unraveling the full potential for biodiversity as a key resource in development strategies of tropical megadiverse countries.*

Keywords: *bioeconomy; bioindustry; development; megadiversity; sustainable transition*

Resumen: La bioeconomía sostenible está siendo revisada en los países en desarrollo tropicales y megadiversos. En vista de los intereses económicos contrapuestos y desigualdades en términos de desarrollo, la biodiversidad podría requerir de su conversión como un recurso estratégico y central en economías nacionales para asegurar la viabilidad política de modelos bioeconómicos. El presente trabajo pretende atender la necesidad de documentar vías alternativas para caminar hacia una bioeconomía sostenible en el contexto de economías extractivas en países en desarrollo tropicales y megadiversos. Por medio de un enfoque de caso de estudio, se analiza la experiencia ecuatoriana para desarrollar una cadena de valor bioindustrial como un arreglo institucional que permite un uso más eficiente e integral de los recursos biológicos dirigidos hacia una economía sostenible y resiliente, a la misma vez que se discute el desarrollo estructural y desafíos para la protección de la biodiversidad. La información generada a partir de esta investigación podría asistir a los hacedores de política que trabajan actualmente en el diseño óptimo de instrumentos orientados a aprovechar el máximo potencial de la biodiversidad como recurso clave en estrategias de desarrollo en para países tropicales megadiversos.

Palabras clave: bioeconomía, bioindustria, desarrollo, megadiversidad, transición sostenible.

-
- 1 Daniel Ortega Pacheco, PhD en Políticas Públicas, Ingeniero Agrícola, Docente de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), daviorte@espol.edu.ec.
 - 2 Ariel Osvaldo Silva, Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas – Iniciativa BioFin, aosventas@gmail.com
 - 3 Alfredo López, Instituto Nacional de Biodiversidad – Iniciativa BioFin, alfredo.lopez@ambiente.gob.ec
 - 4 Ramón Espinel, PhD en Economía Agrícola, Decano de la Facultad de Ciencias de la Vida de la ESPOL, respinel@espol.edu.ec
 - 5 Diego Inclán, PhD en Ecología Aplicada, Docente de la Universidad Central del Ecuador y Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Biodiversidad, diego.inclan@ambiente.gob.ec
 - 6 María J. Mendoza-Jiménez, Economista, Asistente de investigación del Centro de Desarrollo de Políticas Públicas de la ESPOL, mjmendoz@espol.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Los países alrededor del mundo confrontan con mayor frecuencia decisiones de desarrollo que precisan de arreglos que alineen dinámicas sociales y económicas armónicamente con la naturaleza, a la vez que se atienden desafíos de pobreza. Típicamente, estas decisiones requieren la consideración de factores biofísicos, políticos, económicos, entre otros. Así, la bioeconomía necesita incorporar estos desafíos para convertirse en un modelo económico sostenible [1].

El pensamiento económico institucional y sus análisis proveen un marco para evaluar y comprender los beneficios relativos de instituciones alternativas. Utilizando un análisis económico institucional, este manuscrito explora la bioeconomía como vía para aprovechar

el máximo potencial de la biodiversidad y así, catalizar una transición hacia la sostenibilidad en un país tropical megadiverso – Ecuador.

Con una estrategia correctamente desarrollada, Ecuador podría estar en capacidad de ofrecer lecciones preliminares sobre políticas sostenibles de bioeconomía en el mundo. Desde el reconocimiento constitucional de los derechos de la naturaleza hasta la promoción del concepto de “emisiones netas evitadas” en la Convención Marco de las Naciones Unidas con la iniciativa Yasuní-ITT, el enfoque estratégico de Ecuador hacia la bioindustria y la bioeconomía es una demostración de sus esfuerzos incansables por lograr sostenibilidad y la erradicación de la pobreza, y por tanto, merecen un mayor análisis.

2. TROPICALIZANDO LA BIOECONOMÍA

La bioeconomía se define como la transición industrial hacia el uso sostenible de recursos biológicos acuáticos y terrestres en productos intermedios y finales para beneficios económicos, ambientales, sociales y de seguridad nacional [2]. Los países tropicales megadiversos tienen singularidades, desde legislativas a históricas, y también brechas de desarrollo geográficas, lo cual a su vez señala una necesidad de modelos de bioeconomía innovadores o su adaptación (llamada tropicalización). En el caso de economías impulsadas por la producción petrolera, la complejidad del modelo aumenta y re-

quiere de viabilidad política a través de la distribución material de beneficios.

Una opción para que la bioeconomía juegue un rol crítico en el desarrollo de países tropicales megadiversos es atender los desafíos del sector rural en el contexto de la implementación de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Se argumenta que la bioeconomía tiene el potencial para generar crecimiento en la economía rural y un mayor nivel de autonomía en comunidades agrícolas y no agrícolas [2].

Unos de los principales problemas en el análisis de modelos de desarrollo al-

ternativos son los costos de oportunidad entre la participación relativa del sector en el Producto Interno Bruto (PIB), la migración laboral, deforestación, pérdida de biodiversidad, y el desarrollo de sectores industriales y de servicios. Cualquier configuración de bioeconomía debe considerar las interdependencias complejas entre estas variables.

En el Ecuador, algunos autores abogan por una nueva revisión al rol que la biodiversidad debería tener en planes de desarrollo y las estrategias nacionales para eliminar la pobreza y cambiar la matriz productiva hacia una economía terciaria basada en el conocimiento [3].

3. MÉTODOS

Las instituciones estructuran incentivos, moldean creencias y preferencias de las personas, e introducen predictibilidad a la interacción humana [4]. Como tales, las instituciones humanas (i.e., formas de organizar actividades) podrían contribuir a la pérdida de biodiversidad. De esta manera, las instituciones y la protección de biodiversidad pueden ser evaluadas y comparadas en contextos que consideran el desempeño institucional y las relaciones [5].

El marco de análisis de Situación, Estructura y Desempeño (SSP) permite una evaluación analítica de impacto institucional. Iniciando con la observación de “variables” en su contexto (i.e. la situación), que se toman como dadas, “estructuras” alternativas pueden ser evaluadas para predecir el “desempeño” relativo asociado a un grupo dado de objetivos sociales (e.g., eficiencia, equidad).

Situación. A continuación se presentan variables macroeconómicas para mostrar el comportamiento del PIB per cápita, índice de Gini, cambios estructurales en la economía (especialmente la representación del sector agrícola).

Se limita la discusión de Ecuador a los últimos diez años. Durante el período 2007-2014, Ecuador experimentó tasas promedio de fuerte crecimiento anual del PIB (4.3%) – en comparación con el 2.37% entre 1990-2001 –, superávit en su balanza comercial (9%) e inflación moderada (4.8%) [6]. Los términos de intercambio favorables para las materias primas ecuatorianas, tales como cacao y aceite, así como grandes inversiones en el desarrollo de infraestructura pública, contribuyeron considerablemente al crecimiento. El fuerte crecimiento económico observado desde el 2007 –exceptuando el período 2009– se ha convertido en los últimos años en una desaceleración económica. El pronóstico más reciente del Fondo Monetario Internacional (FMI) presenta crecimiento negativo desde el 2016 hasta el 2020 y un decrecimiento acumulado de casi 7% [7]. En abril del 2016 el desastre causado por el terremoto en Manabí representó para las finanzas públicas un desafío incluso mayor al desplome de exportaciones y el bajo precio del petróleo. Entre los años 2015 y 2016, la recaudación tributaria

se redujo en un 8%. Adicionalmente, entre el primer trimestre del 2016 y el mismo período en el 2015 (t/t-4), la variación del PIB fue -4% [8].

Con respecto a mediciones de desigualdad, el coeficiente de Gini se redujo de 0.57 a 0.45 durante el período 2000-2016 [8]. Una descomposición de la reducción de este indicador entre 2002-2012 en el Ecuador revela que también se explica por una caída del ratio entre el salario de mano de obra calificada y mano de obra no calificada [9]. Esto refleja una reducción general del 9% de la pobreza entre 2001-2014 (i.e., de 54.9% a 33.6%) [10].

No obstante, algunos autores han argumentado que una vez que el boom de *commodities* acabó – los precios del petróleo a nivel global bajaron de USD 109,45 en el año 2012 hasta USD 26,5 en el 2016–, las políticas gubernamentales dirigidas a reducir la desigualdad pasaron a ser insostenibles, y la desigualdad podría volver a aumentar [11].

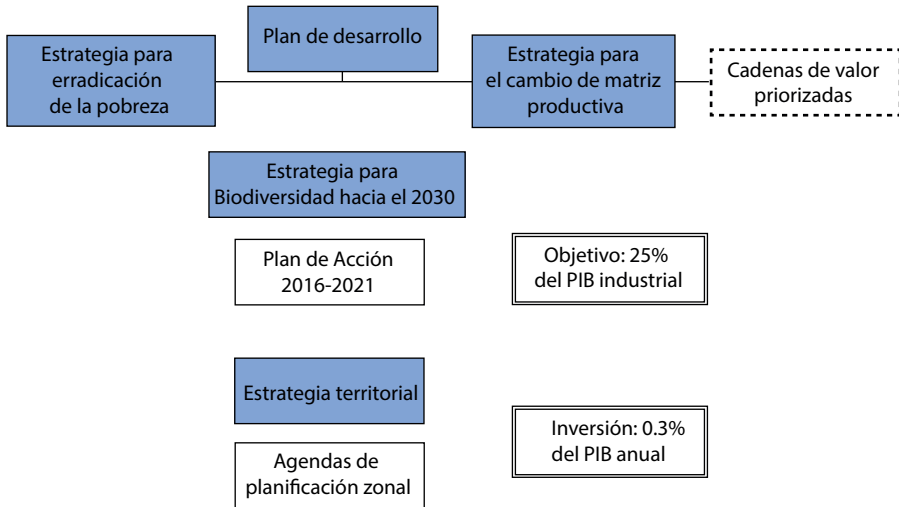
Cambios en la composición sectorial de la producción son, entre otros, señales evidentes de transformación estructural. La disminución de la representación del sector agrícola en la economía puede observarse en la evolución del consumo de alimentos en relación al PIB. A pesar de que el consumo total fue el principal contribuyente del PIB entre 1966 y 1994, el consumo de alimentos representaba al menos la mitad del consumo total en los 60s y dicha representación bajó al 32% para 1994 [12]. Esta transformación ha involucrado procesos de industrialización, crecimiento del sector de servicios

e intensidad tecnológica, desplazamiento intersectorial y regional de la mano de obra, y cambios en la estructura de la distribución de ingresos. Además, mientras el ingreso per cápita aumentó 8.8 veces (en términos nominales), la representación del sector agrícola disminuyó en la economía ecuatoriana desde el 26.5% en 1966 al 8% en el 2016 [13], [8].

La evidencia de cambio estructural de la última década ha sido acompañada de un superávit de la balanza comercial en el sector agrícola. En promedio, se exportó USD 9 mil millones de productos agrícolas por año entre 2012-2014 y se importó apenas USD 1.3 mil millones anualmente. Dado que la demanda es menor a la capacidad de la oferta, la economía ecuatoriana podría no estar aprovechando plenamente los recursos disponibles que podrían transformarse en bioproductos.

Desde un enfoque panorámico, el sector rural en Ecuador ha sido intervenido extensivamente durante las últimas décadas por el desarrollo de políticas y programas para implementar o fomentar las actividades productivas, a través del Ministerio de Ambiente y el Ministerio de Agricultura con una combinación de programas productivos y de conservación. La evidencia indica que el cambio estructural en Ecuador ha venido acompañado de cambios sociales, económicos, políticos y ambientales, y las políticas han inducido directa e indirectamente la expansión de las fronteras agrícola, hidroeléctrica, petrolera y minera a expensas de bosques y biodiversidad.

Figura 1. Arreglo institucional de la bioeconomía del Ecuador



Fuente: Autores

Falconí & Vallejo argumentan que los determinantes clave que promueven transiciones socio-ecológicas en el Ecuador, así como en otros países andinos, son la eficiencia económica, la redistribución de los ingresos y la sostenibilidad física [14], pues las economías extractivas: i) ejercen presión ambiental y profundizan desigualdades, y ii) prospectos de crecimiento económico son limitados por la capacidad de carga del ecosistema.

La necesidad de promover políticas públicas que garanticen la sostenibilidad ambiental, social y económica del sector rural genera una oportunidad para un patrón de especialización que considera la biodiversidad como recurso estratégico para el desarrollo industrial sostenible (bioindustria) en Ecuador. Además, la caída del precio de materias primas tiene un impacto en

el sector de la agricultura, generando una crisis de alternativas para el sector rural y una oportunidad para esquemas de producción basados en biodiversidad que reduzcan la vulnerabilidad a los shocks externos.

Estructura. La Estrategia Nacional de Biodiversidad (ENB) 2015-2030 ha sido diseñada para dar paso a la industrialización de biodiversidad basada en bioconocimiento [15]. Se trata de una estructura para proteger la biodiversidad para catalizar una transición sostenible de la economía ecuatoriana. Esta estrategia se alinea al enfoque de desarrollo de Ecuador, que busca superar desigualdades estructurales y relaciones de dependencia generadas por el actual modelo de exportación primaria a través de una acumulación de bioconocimiento [16]. La ENB es una parte crítica de un sofisticado enfoque

de planificación para el desarrollo que incluye: el Plan Nacional de Desarrollo, estrategias y planes de acción con objetivos específicos, metas e indicadores

(ver Figura 1). Según una publicación ministerial, la implementación de ocho resultados clave de la ENB implica una inversión del 0.38% del PIB [17].

Tabla 1. Atributos de la ENB 2015-2030 que promueve una bioeconomía en Ecuador

Campo de acción	Descripción
Sector institucional	
Gobernanza	Incluye mecanismos de participación local y su vínculo con autoridades nacionales y sectoriales, y sistemas de planificación nacional. Promueve el acceso a TIC y el mejoramiento de sistemas de información (e.g., Sistema de Cuentas Ambientales y Económicas)
Política fiscal	Promueve la coordinación de la inversión pública ambiental, programas y proyectos con acciones selectivas en créditos, fondos concesionales, tasas de interés, sistemas de garantía y facilidad de ahorro para propósitos productivos, incluyendo la canalización de recursos financieros de cooperación internacional a través de mecanismos especiales como los Fondos de Inversión. Apunta a movilizar los recursos financieros desde medios de tributación, créditos, inversión de capital y emisión de valores para promover la productividad rural y la I&D.
Regulación	Permite un marco regulatorio propicio para explorar regulación en las fronteras y trabajar en políticas comerciales que favorezcan la recaudación de impuestos para evitar flujos de mercancías. Coordina los incentivos ambientales y agrícolas con aquellos establecidos en el Código Orgánico de Producción, Comercio e Inversiones (COPCI), Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno y Ley Orgánica de Incentivos para Asociaciones Público-Privadas y la Inversión Extranjera.
Sector económico	
PIB real	Busca a) maximizar los beneficios de producción exportable basada en la oferta de insumos internacionalmente competitivos, y b) maximiza la producción doméstica de insumos con precios preferenciales y almacenamiento estratégico para garantizar la soberanía alimentaria. Genera nuevos incentivos que se enfocan en incrementar la productividad y el valor agregado del sector agrícola y ganadero. Introduce incentivos relacionados a la demanda, que fomenta los procesos de certificación o a través de sistemas de compras públicas.
I&D	Promueve la investigación básica y aplicada para innovar y diversificar soluciones y productos que promuevan la eficiencia de la economía, lo cual a su vez conlleva la implementación de las mejores prácticas y la incorporación de tecnología de punta sobre el uso de insumos de biodiversidad.
Desarrollo local	Promueve el desarrollo de la comunicación física (terrestre, fluvial, aire) y a disponibilidad de sistemas de comunicación. Promueve el anclaje de talento humano en estos territorios, al explotar la bioindustria local. Promueve el anclaje de la biodiversidad al territorio a través de demanda local creciente (i.e., comida gourmet, manualidades, múltiples bioempresas, etc.), promoviendo la domesticación de especies para producción, administración y uso en finca, y además para su uso sostenible en bosques nativos.

Desarrollo regional	Planifica conectividad terrestre entre ciudades, poblaciones y asentamientos amazónicos con el propósito de mejorar la competitividad del territorio, maximizar las economías externas a las compañías y minimizar el riesgo de deforestación. Crea un clúster de biodiversidad para promover el desarrollo de bioempresas que fomenten el desarrollo regional.
Sector privado	Apoya programas para iniciativas pequeñas y medianas, e.g. una incubadora e instalaciones de comercio para proveer apoyo en términos comerciales y técnicos para bioemprendimientos. Apoya el desarrollo de réplicas de modelos de negocio basados en el uso de biodiversidad que han prosperado en Ecuador, como respaldo al anclaje de biodiversidad al territorio. En aspectos comerciales, promueve alianzas estratégicas con compañías de posición dominante en Ecuador para integrarlas en la matriz de insumos-productos de biodiversidad. Promueve la bioindustria, con tecnologías que optimizan la producción de proteína para alimento.

Fuente: Autores

La ENB debería ser explorada en el contexto de la Estrategia Nacional para el Cambio de Matriz Productiva que involucra tres etapas para transformar patrones de especialización y generación y distribución de riqueza. El objetivo es que la participación relativa de bienes y servicios basados en el conocimiento – incluyendo bioconocimiento – y los servicios turísticos tengan un mayor peso en el PIB que el generado por el sector primario. En este sentido, la Estrategia Nacional para el Cambio de Matriz Productiva ha priorizado nueve sectores y trece cadenas para sustituir importaciones – con un valor de USD 6 mil millones hasta el 2017 –, diversificar producción, generar valor agregado e incrementar la oferta exportable. Las industrias emergentes se beneficiarán en un horizonte de cuatro años de una inversión pública de aproximadamente USD 47 mil millones. Las cadenas priorizadas comprenden cuatro agroindustriales, cinco de manufacturas y cuatro

de servicios. Todas estas cadenas de valor basan su producción, transformación y procesos de valor agregado en insumos de ecosistemas y biodiversidad.

Respecto a implementación, debe notarse que la ENB y su Plan de Acción 2016-2021 han sido diseñados con una visión integradora de planificación a distintos niveles de gobierno. Sus objetivos tienen una conexión cercana con las prioridades expresadas en el Plan Nacional de Desarrollo, los lineamientos en el eje de sostenibilidad ambiental de la Estrategia Nacional Territorial y las cadenas de valor priorizadas en la Estrategia Nacional para el Cambio de Matriz Productiva; por otro lado, con las demandas locales en el último ejercicio de actualización de las Agendas de Planificación Zonal. De hecho, el enfoque innovador a la bioeconomía ecuatoriana reposa sobre la noción de que ha sido planeada como parte de un mayor proceso de planificación de desarrollo

de los territorios zonales. Hoy en día, el desafío se encuentra en asegurar que los gobiernos descentralizados integren a la planificación local las propuestas que han surgido durante los procesos de participación, y además, dada la naturaleza transversal de la biodiversidad, en articular las agendas de la coordinación intersectorial como parte de una estructura de gobernanza multinivel. Los atributos más destacados de la política de bioeconomía en el Ecuador, según el campo de acción que buscan fortalecer se pueden revisar a detalle en la Tabla 1.

Desempeño. A continuación, se presentan tres predicciones relacionadas a posibles escenarios relacionados al enfoque de desarrollo en Ecuador, interpretado como consecuencia de la ENB en conjunto con los arreglos institucionales de los cuales se derivó. Los primeros dos escenarios describen situaciones en las que no hay mayores esfuerzos por priorizar la biodiversidad como fuente de desarrollo, idea fundamental detrás de un modelo de bioeconomía. En este contexto, trabajos recientes apuntan a cuestiones críticas actuales resultantes de la implementación de la estrategia de desarrollo del Ecuador [10], [18].

Primero, el desempeño esperado de la ENB probablemente no logre resultados ambiciosos, puesto que la transición de hoy está dirigida a iniciar industria pesada sin haber construido un puente con el sector primario actual. Experiencias similares en países asiáticos han fomentado inicialmente grandes capacidades para exportar bienes de consu-

mo simples y básicos, antes de utilizar sus altas capacidades industriales para saltar a la industria pesada. [19].

Segundo, los sectores estratégicos priorizados tienen funciones de producción altamente intensivas en capital y efectos socio-ambientales esperados. Su desarrollo involucra importaciones de insumos intensivos en capital, tal como construcción pesada y maquinaria especializada, o la creación de una nueva industria endógena de fabricación de máquinas y herramientas. Además, la industria básica a nivel mundial experimenta una alta capacidad no utilizada y, como resultado, una probable oferta excesiva en el mercado. Por otro lado, hay un vacío en términos de inversiones necesarias para I&D y la disponibilidad de capacidades humanas altamente calificadas asociadas a su desarrollo.

Si, por otro lado, se realizan esfuerzos de I&D e inversión de infraestructura de distribución para poder aprovechar la biodiversidad como recurso estratégico, el escenario es más prometededor. Según Golinelli et al., la política de bioeconomía en Ecuador ha considerado tipos de investigación alternativos para incentivar una colaboración abierta y temprana (i.e., investigación básica orientada a la generación de conocimiento) y un activo intercambio de conocimiento, tecnología y materiales (i.e., investigación comercial orientada a la generación de ingresos) en etapas avanzadas [20]. Se percibe que esta última podría generar soluciones exportables a mercados regionales o internacionales e incluir no solo recursos

físicos sino también información genética, genómica y metagenómica, modelos, métodos y protocolos. Los arreglos institucionales vigentes (i.e., Códigos de Ciencias Ambientales y Tecnología) son clave para fomentar un modelo bioeconómico de desarrollo sosteni-

ble. Es más, se ha argumentado que la productividad total de los factores aumenta si los negocios micro, pequeños y medianos participan en un ambiente favorable para la innovación en vez de una paralizado por monopolios, oligopolios, u oligopsonios privados [21].

4. DISCUSIÓN

Tal como cualquier otra estrategia de desarrollo, el caso ecuatoriano es uno de largo plazo. Los efectos mencionados al final de la sección anterior (mayor productividad, generación de empleo y mayores salarios) deberían ser interpretados con cuidado, pues la productividad relacionada con la bioindustria bajará al momento de la implementación de la política hasta que las dinámicas del sistema empiecen a generar resultados. Cuando esta transición sostenible ocurra, la bioeconomía tiene el potencial de afectar patrones de comercio regional (i.e., la región andina) y transformar al Ecuador en un demandante de materia prima biodiversa para añadir valor, sustituir importaciones de productos de petróleo y exportar producción en exceso basada en el uso de biodiversidad. La sustitución de importaciones es particularmente importante para Ecuador, considerando su limitada capacidad de implementar política monetaria y vulnerabilidad a la salida de dólares.

Al promover la bioeconomía, podría darse el caso de que los individuos en el sector rural incrementen sus niveles de consumo generales. Esto podría resultar debido a que la elaboración de bioproductos y sus precios razonables están

destinados a sustituir productos y servicios generados del petróleo. La bioeconomía sostenible asume que, a largo plazo, el consumo agregado podría no cambiar pero su composición será significativamente alterada al modificar los sistemas productivos e incrementar la concientización sobre el consumo.

Al desviar consumo hacia sectores bioindustriales y proveer estabilidad de trabajo en el sector rural, las inversiones en I&D podrían tener efectos en la demanda agregada, resultando en aumento de producción, a pesar de no tener efecto en el nivel de consumo general del individuo. Estas inversiones podrían reducir la presión deflacionaria en el mercado laboral no rural: de la misma manera que la bioindustria absorbería fuerza laboral y aumentaría los salarios agregados en el sector rural, podemos esperar consecuencias similares a causa de las inversiones público-privadas.

Para explotar el máximo potencial de la bioeconomía, la bioindustria debe ser desarrollada para fabricar productos que contribuyan a bienes o servicios con un alto valor agregado, considerando que la representación de alimentos

en el gasto cae a medida que el ingreso aumenta. Así, se podría asegurar el acceso a generación de riqueza y factores productivos (bioconocimiento y oportunidades de emprendimiento) a aquellos históricamente excluidos. De hecho, creemos que la bioeconomía se vincula con el desarrollo sostenible a medida que la productividad del sector rural aumenta, puesto que la biodiversidad asume su rol central y estratégico en la economía y contribuye a su conservación al facilitar las necesidades de sectores no privilegiados, trasladando a los trabajadores a industrias sostenibles.

Está fuera del alcance de este capítulo resolver las implicaciones agregadas de estos varios efectos contrapuestos sin añadir supuestos o un modelo estructural completo. Investigaciones a futuro deberían apuntar a proveer evidencia empírica de efectos macroeconómicos de la bioeconomía en Ecuador, como un caso de estudio valioso que podría derivar en futuras lecciones para otros países en desarrollo tropicales y megadiversos. Sin embargo, resulta útil considerar que la bioindustria tiene potencial para absorber el excedente de la fuerza laboral en el sector rural en una economía restringida por la demanda.

Existe una amplia revisión literaria sugiriendo que la exposición a mercados y nuevas tecnologías afecta las relaciones sociales y puede erosionar las formas tra-

dicionales de protección social [22]–[24]. Li resaltó la tensión entre la desigualdad en el acceso a tierras por parte de sectores pobres y la promoción de modernización en la producción agrícola [25]. Esta literatura llama a la consideración de políticas que aseguren acceso equitativo a una nueva creación de riqueza y factores productivos durante el desarrollo de cadenas de valor bioindustriales, además de una transición hacia la bioeconomía que sea inclusiva y se base en los derechos.

A pesar de su alineación a la Estrategia para el Cambio de Matriz Productiva, en las etapas iniciales debe darse un mayor énfasis a la biodiversidad como recurso central, especialmente para superar los desafíos actuales. La bioeconomía ofrece importantes ventajas de costo-beneficio, pues la inversión requerida hará uso de una mayor productividad del sector primario y un creciente desarrollo de cadenas de alto valor agregado con menos externalidades negativas. En este contexto, la bioeconomía podría ofrecer una opción sostenible para una transición socioecológica. De hecho, dada la situación económica actual, podría esperarse beneficios significativos mayores en términos de generación de riqueza, empleo y reducción de desigualdades al acelerar las fases de desarrollo promoviendo bienes de consumo simples y básicos de cadenas de valor bioindustriales.

5. CONCLUSIONES

La bioeconomía sostenible está siendo revisada en Ecuador. En vista de

interdependencias sociales y económicas complejas, el desarrollo de la bioin-

dustria requiere de la tropicalización de modelos y tecnologías extranjeras, así como políticas que apoyen y promuevan la cadena de valor. La Estrategia Nacional de Biodiversidad del Ecuador aparenta tener un rol prometedor que permitiría un uso más eficiente e integrado de los recursos biológicos hacia una economía sostenible y resiliente, mientras apunta hacia un desarrollo estructural y desafíos para la protección de la biodiversidad.

Se observa que el potencial económico de la bioeconomía, con una inversión apropiada en infraestructura de distribución y aumento de la productividad rural, yace en la reducción de las importaciones con base en combustible fósil y las desigualdades en el sector rural.

Por otro lado, se espera que la bioindustria induzca al crecimiento de la industria local, añadiendo mayor valor en las actividades de producción primaria. La creación de un mercado doméstico ocurre lentamente porque, a diferencia

de lo que ocurre en el mercado internacional, la fase inicial de una bioindustria se caracteriza por un apalancamiento público fuerte y consumo nacional. Se recomienda entonces una estrategia de comunicación respecto a la importancia de la bioindustria en el contexto de cambio de matriz productiva y su factibilidad a largo plazo.

Para aprovechar el potencial socio-económico y ambiental de la bioindustria ecuatoriana, hay una clara necesidad de fortalecer el rol central de la biodiversidad en el cambio de la matriz productiva. Esto podría lograrse desarrollando cadenas de valor con una visión estratégica estructurada y definida que coordine proveedores, productores y usuarios de tal manera que sea consistente con el marco institucional. La investigación a futuro debería dirigirse a desarrollar un modelo estructural que explore el potencial para la bioeconomía en un contexto dinámico y multi-temporal.

REFERENCIAS

- [1] M. Sillanpää and C. Ncibi, *A Sustainable Bioeconomy: The Green Industrial Revolution*. Springer, 2017.
- [2] J. S. Golden and R. Handfield, "The Emergent Industrial Bioeconomy," *Ind. Biotechnol.*, vol. 10, no. 6, pp. 371–375, 2014.
- [3] C. Walsh, "Development as Buen Vivir: Institutional arrangements and (de)colonial entanglements," *Development*, vol. 53, no. 1, pp. 15–21, 2010.
- [4] A. Schmid, "Methods," in *Conflict and Cooperation*, Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2004, pp. 138–162.
- [5] M. P. Wells, "Institutions and incentives for biodiversity conservation," *Biodivers. Conserv.*, vol. 7, no. 6, pp. 815–835, 1998.
- [6] BCE, "Información Estadística Mensual No.1966." Banco Central del Ecuador, Quito, 2015.
- [7] IMF, "Ecuador: purchase under the rapid financing instrument," 2016.
- [8] BCE, "Información Estadística Mensual No.1978." Banco Central del Ecuador, Quito, 2016.

- [9] G. A. Cornia, *Falling Inequality in Latin America: Policy Changes and Lessons*. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- [10] J. M. Cypher and Y. Alfaro, "Triángulo del neo-desarrollismo en el Ecuador," *Probl. Desarro.*, vol. 16, no. 185, pp. 163-186, 2016.
- [11] I. Gachet, D. F. Grijalva, P. Ponce, and D. Rodríguez, "Vertical and horizontal inequality in Ecuador: The lack of sustainability," 106, 2016.
- [12] S. Marconi and P. Samaniego, "Las fuentes del crecimiento económico: Una perspectiva a partir de la demanda," 1995.
- [13] S. Marconi, "Tendencias estructurales del sector agrícola ecuatoriano," 1985.
- [14] F. Falconí and M. C. Vallejo, "Transiciones socioecológicas en la región andina," *Rev. Iberoam. Econ. Ecológica*, vol. 18, pp. 53-71, 2012.
- [15] MAE, *Estrategia Nacional de Biodiversidad 2015-2030*, 1st ed. Quito, 2016.
- [16] SENPLADES, "Plan Nacional de Desarrollo del Buen Vivir 2013-2017," Quito, 2013.
- [17] MAE, "Estrategia Nacional de Biodiversidad 2030," *Ambient. 2035- Aportes al debate la política Ambient.*, vol. 5, Oct. 2016.
- [18] J. Childs and J. Hearn, "'New' nations: resource-based development imaginaries in Ghana and Ecuador," *Third World Q.*, vol. 38, no. 4, pp. 844-861, 2017.
- [19] A. Amsden, *The Rise of "The Rest."* Oxford University Press, 2001.
- [20] S. Golinelli, K. Vega-Villa, and J. F. Villa-Romero, "Biodiversidad: ciencia ciudadana, saberes originarios y biodiversidad aplicada en la economía social del conocimiento," in *Buen Conocer - FLOK Society Modelos sostenibles y políticas públicas para una economía social del conocimiento común y abierto en el Ecuador*, D. Vila-Viñas and X. E. Barandiaran, Eds. Quito: IAEN-CIESPAL, 2015, pp. 345-396.
- [21] M. Vivarelli, "Innovation, Employment and Skills in Advanced and Developing Countries: A Survey of Economic Literature," *J. Econ. Issues*, vol. 48, no. 1, pp. 123-154, 2014.
- [22] J. C. Scott, *Weapons of the Weak*. Yale University Press, 1985.
- [23] K. Polanyi, *The great transformation: the political and economic origins of our time*. Beacon Press, 1944.
- [24] K. Marx, *The Poverty of Philosophy: Answer to the "Philosophy of Poverty" by M. Proudhon*, Reprinted. Progress Publishers, 1847.
- [25] T. M. Li, "Exit from agriculture: a step forward or a step backward for the rural poor?," *J. Peasant Stud.*, vol. 36, no. 3, pp. 629-636, 2009.

Vegetal regeneration modeling rate computing environmental indices from remote sensing data in Quito Metropolitan Park

Modelamiento en la tasa de regeneración vegetal
con el cálculo de índices ambientales a partir de imágenes
satelitales en el Parque Metropolitano de Quito

C. Álvarez¹, L. Ramírez²

Abstract: *Guanguiltagua Metropolitan Park located in Quito is the second largest area of forest vegetation in the city, it contributes to the carbon fixation mechanism within an urban area. In the last five years, the city has overcome the temperature increase and variations of the climate mainly in the summer, which produces forest fires that deteriorate and modify the terrain morphology. The present work evaluates the evolution of fires in the Metropolitan Park Guanguiltagua of Quito, using the method of Remote sensing through the management of Landsat satellite images, in addition to the Index of Vegetation of Normalized Difference (NDVI) to be used in a model of logarithmic regression which allows to describe the vegetal regeneration in a period of 2 years.*

Keywords: *Forest fire, vegetal regeneration, Landsat, NDVI*

Resumen: El Parque Metropolitano Guanguiltagua en Quito, es la segunda área de vegetación forestal más extensa de la ciudad, contribuye al mecanismo de fijación de carbono dentro de un área urbana. En los últimos cinco años, la ciudad ha sobrellevado el incremento de temperatura y variaciones del clima principalmente en las épocas de verano, lo que trae como consecuencia los incendios forestales que deterioran y modifican la morfología del terreno. El presente trabajo pretende analizar la evolución de los incendios en el Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito, para ello se utiliza el método de Teledetección mediante el manejo de imágenes satelitales Landsat, además del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para emplearlo en un modelo de regresión logarítmico que permite describir la regeneración vegetal evaluada en 6 años.

Palabras clave: Incendio forestal, regeneración vegetal, Landsat, NDVI.

1 César Iván Álvarez Mendoza, Ingeniero Geógrafo, Magíster en Gestión Ambiental, PhD (c) Ingeniería Geográfica, Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental, Ecuador, calvarezm@ups.edu.ec

2 Lenin Xavier Ramírez Cando, Ingeniero en Biotecnología, Magíster en Gestión de Riesgos Ambientales, PhD (c) Ingeniería Agroforestal, Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental, Ecuador, lramirez@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales tienen diversos efectos sobre la fauna y vegetación de la zona, por consiguiente, generan consecuencias para los habitantes del sector [1]. Las formaciones vegetales, así como la composición del suelo del Parque Metropolitano Guanguiltagua se deterioran y agudizan por eventos como la quema de basura y la incorporación de especies respuestas a la intensidad del fuego. Estos elementos y sus combinaciones se conocen como el régimen de incendios de un determinado lugar. En este sentido, la detección de áreas quemadas posee un valor considerable de cara a determinar la ocurrencia de incendios [2].

Diferentes metodologías se emplean para describir la historia de fuegos de una zona determinada. La detección de la respuesta de la vegetación generada por el fuego se utiliza desde hace varios años, la teledetección ha ayudado a los investigadores a diferenciar y ubicar específicamente, tanto incendios antiguos

como fuegos recientes, por lo tanto, obtener la frecuencia y extensión de tales fuegos.

La utilización de una metodología para la predicción de recuperación del área afectada en el Parque Metropolitano Guanguiltagua en Quito se hace primordial, por ello se incorpora un sistema denominado Teledetección [3] en conjunto con el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) [4] obtenido a partir de imágenes satelitales Landsat [5], [6], donde se analiza el período posterior al incendio, generando información necesaria para la predicción de la recuperación del sector. El programa Landsat existe desde el año 1972 con el Landsat 1, llegando hasta el Landsat 8 enviado al espacio en el año 2013. Es un programa de la NASA de satélites de observación de la tierra que permiten realizar diferentes estudios dentro de los cuales realzan los estudios ambientales como el caso de analizar la cobertura vegetativa a lo largo de las décadas [7].

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudio

El Parque Metropolitano Guanguiltagua está ubicado al nororiente de la ciudad de Quito entre los 2.700 y 2.965 m.s.n.m, y cuenta con un área aproximada de 557 Ha [8]. Este espacio está principalmente forestado por eucaliptos, aunque también existen en su interior matorrales y arbustales de

vegetación nativa. El área de estudio del parque considerada está entre las coordenadas mostradas en la Tabla 1.

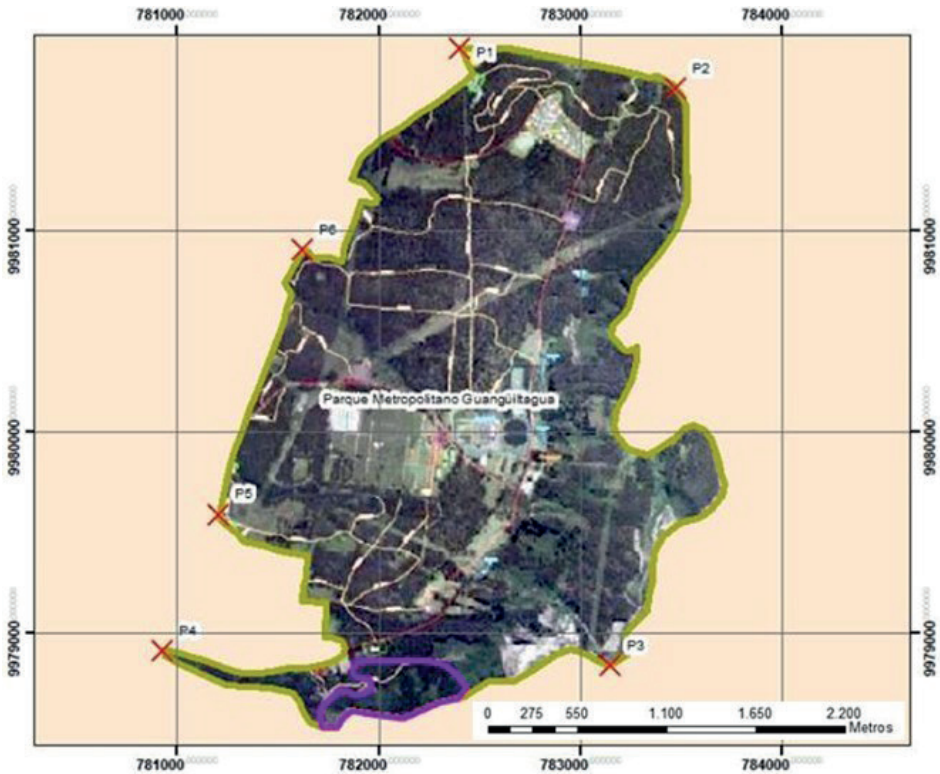
El área de estudio resultante en función a las coordenadas de la Tabla 1, calculada en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS) fue de 547.3 Ha como muestra la Figura 1.

Tabla 1. Coordenadas UTM WGS84 17S del Parque Metropolitano Guanguitagua

CÓDIGO	ESTE (m)	NORTE (m)
P1	782472	9981910
P2	783452	9981680
P3	783167	9978850
P4	780946	9978900
P5	781209	9979580
P6	781614	9980880

Fuente: Autores

Figura 1. Área de Estudio



Fuente: Autores

2.2 Selección de sensores remotos adecuados

En primer lugar, se definió el uso de imágenes satelitales Landsat como Sensor Remoto. Se seleccionaron 6 imágenes Landsat, de las cuales cinco de las imágenes corresponden al satélite Landsat 8 y una al satélite Landsat 7, comprendida entre 2012 a 2017. Se utilizó una imagen previa al incendio forestal, la cual indica la zona quemada (2012), de los cinco restantes, 5 imágenes anuales son posterior al incendio. Las imágenes presentaron diferencias radiométricas, por lo que se aplicó las correcciones radiométricas por medio de una normalización final basada en áreas invariantes [9]. La ecuación (1) muestra la forma de calcular el valor de NDVI [10] para cada píxel.

$$NDVI = \frac{\varphi_{NIR} - \varphi_{RED}}{\varphi_{NIR} + \varphi_{RED}} \quad (1)$$

Donde se establece como Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI), reflectancia espectral del canal infrarrojo cercano φ_{NIR} y reflectancia en el canal rojo del visible φ_{RED} .

Adicionalmente mediante la ecuación (2), se obtuvo el QNDVI, definido como el cociente entre medias de área de fuego y de control ocupando los parámetros índice normalizado diferencial de vegetación de las zonas quemadas $NDVI_{fuego}$ e índice normalizado diferencial de vegetación de las zonas de control $NDVI_{control}$.

$$Q_{NDVI} = \frac{NDVI_{fuego}}{NDVI_{control}} \quad (2)$$

Una vez calculado el QNDVI, los valores de todas las imágenes después del fuego se emplearon para el ajuste de un modelo de regresión logarítmico con objeto de determinar las tasas de regeneración, se estimó mediante la ecuación (3)

$$Q_{NDVI} = \alpha + \beta \log(t) \quad (3)$$

Donde el QNDVI corresponde al cociente definido en la ecuación (2), el α es definido como el coeficiente aditivo, β es definido como el coeficiente multiplicativo y t es el tiempo transcurrido en días.

Se establecieron zonas testigo adyacente (zona de control) a cada zona quemada analizada. Estas áreas presentaban similar composición florística de las comunidades vegetales y un comportamiento fenológico previo al fuego correlacionado significativamente con el de las zonas quemadas.

2.3 Análisis de áreas

Se realizaron dos comparaciones para el QNDVI; en la primera, se dividió el NDVI del área de incendio obtenido de las 6 imágenes satelitales, desde el año 2012 hasta el año 2017, para el NDVI del área de control del año 2012. En la siguiente comparación se obtuvo el cociente de los NDVI del área de incendio de cada año subdividida en 4 áreas, para el NDVI del área de control por año.

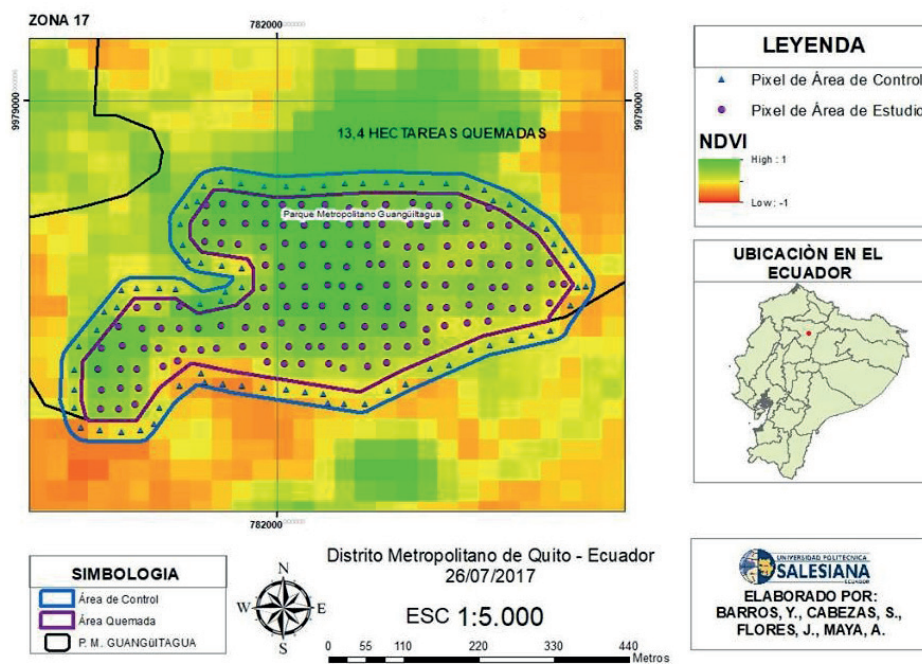
3. RESULTADOS

En las Figuras 2 a la 7 se muestra la cobertura vegetal determinada por el NDVI dentro de un rango de -1 a 1, en la zona de estudio desde el año 2012 al 2017 misma que está identificada por la tonalidad del pixel. El color verde (NDVI = 1) representa áreas con mayor concentración de vegetación, mientras que la gama correspondiente a los colo-

res anaranjados a rojo (NDVI = -1) indica zonas de menor cobertura vegetal, es decir, mientras el color de pixel se acerca al rojo, la cobertura vegetal va disminuyendo.

La Figura 2 muestra el área de estudio previa al incendio ocurrido en los últimos días del mes de diciembre del 2012.

Figura 2. Cobertura vegetal de la zona de estudio en el Parque Metropolitano Guangüiltagua, 2012

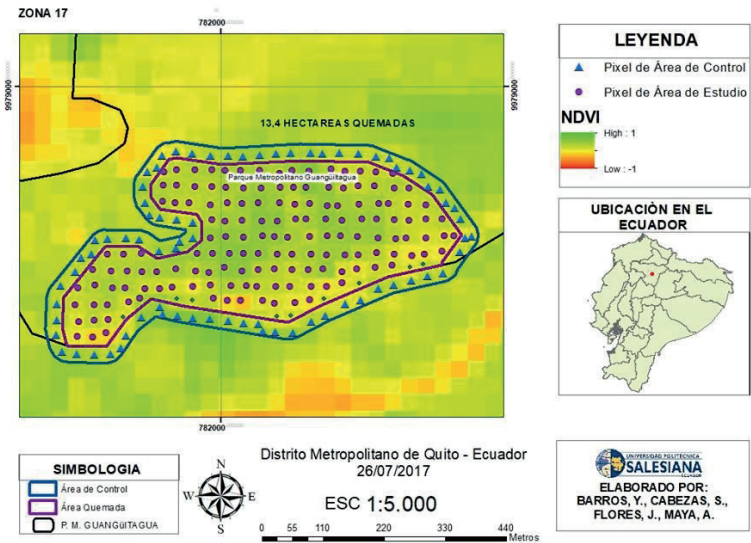


Fuente: Autores

En la Figura 3 se muestra el área de estudio posterior al incendio, donde se aprecia la disminución de la gama del

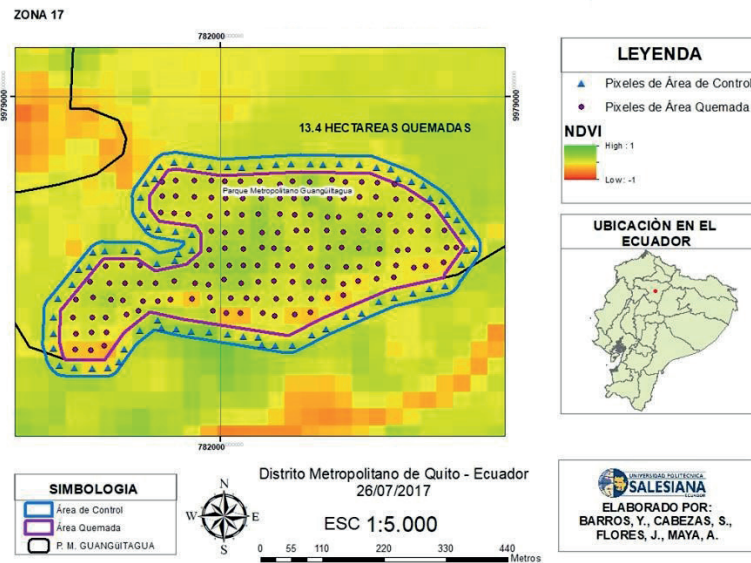
verde, lo que indica el descenso de la cobertura vegetal.

Figura 3. Cobertura vegetal de la zona de estudio en el Parque Metropolitano Guanguiltagua, 2013



Fuente: Autores

Figura 4. Cobertura vegetal de la zona de estudio en el Parque Metropolitano Guanguiltagua, 2014

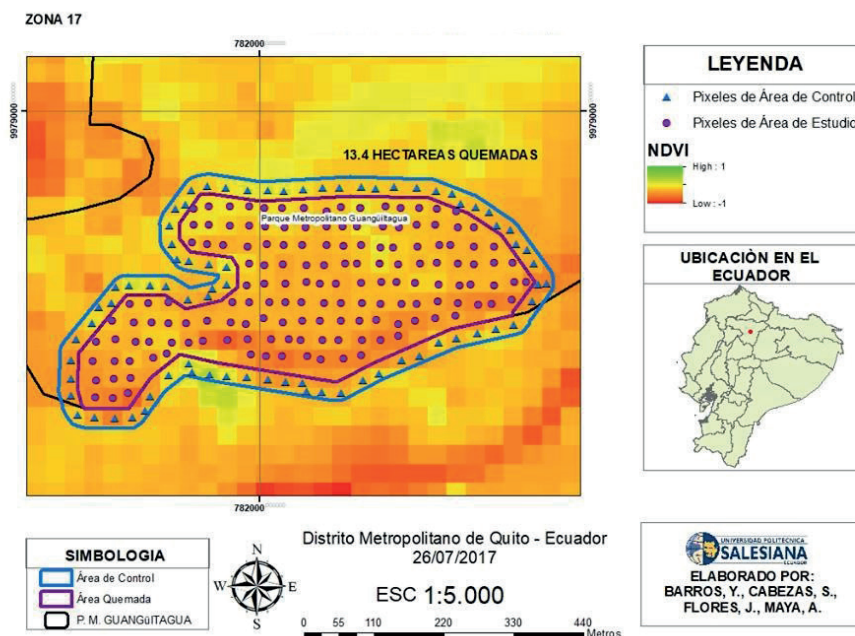


Fuente: Autores

Comparando la tonalidad de los pixeles de la Figura 4 con respecto a la Figura 3 se evidenció que no existe mayor diferencia de regeneración vegetal entre los años del 2013 y 2014.

En la Figura 5 se observó que el NDVI en el área de estudio registró valores cercanos a -1 debido a que en el año 2015 se suscitó un incendio forestal en el Parque metropolitano Guanguiltagua.

Figura 5. Cobertura vegetal de la zona de estudio en el Parque Metropolitano Guanguiltagua, 2015



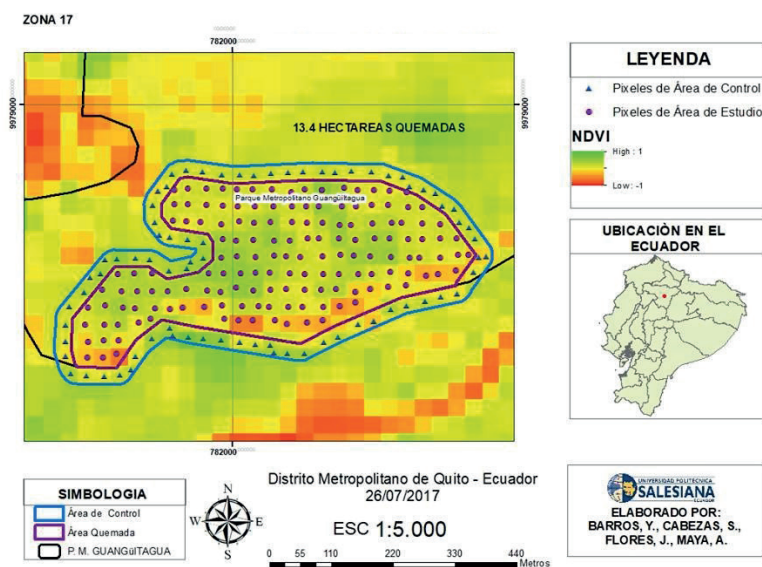
Fuente: Autores

En la Figura 6 se evidencia recuperación vegetal posterior al incendio registrado en el año 2016, determinada por la tonalidad de pixel cercano al verde.

La Figura 7 muestra el actual estado del parque Metropolitano Guanguiltagua. Se observa que existe recuperación de la cobertura vegetal en comparación con el año 2017 ya que el NDVI adquiere valores cercanos al 1.

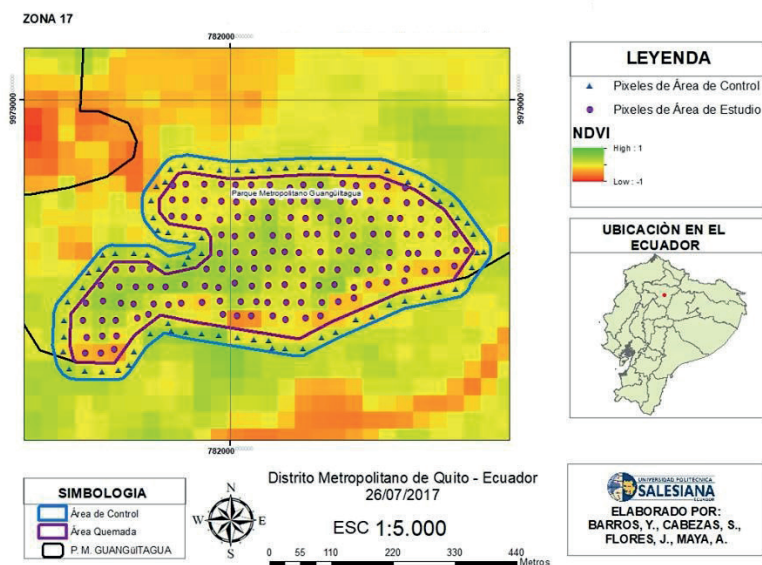
La Tabla 2 hace mención a la obtención de la ecuación logarítmica que describe el comportamiento del QNDVI cuando se comparan los NDVI de las cuatro subáreas del área de estudio, con el NDVI control de cada año que abarca el periodo desde el 2012 al 2017. El coeficiente de determinación (R^2) calculado fue superior a 0,6, lo que determina una buena aceptación del modelo matemático, esto se puede apreciar en la Figura 8.

Figura 6. Cobertura vegetal de la zona de estudio en el Parque Metropolitano Guanguiltagua, 2016



Fuente: Autores

Figura 7. Cobertura vegetal de la zona de estudio en el Parque Metropolitano Guanguiltagua, 2017



Fuente: Autores

La Tabla 3 hace mención a la obtención de la ecuación logarítmica que describe el comportamiento del QNDVI cuando se comparó con el NDVI del área de incendio total con el NDVI del control de cada una correspondien-

temente, empezando con el año 2012 hasta el año 2017. El coeficiente de determinación (R^2) calculado fue superior a 0,9 lo que determina aceptación del modelo más aproximado a la realidad.

4. DISCUSIÓN

Con los resultados obtenidos, se corrobora que el uso del NDVI es adecuado para el seguimiento del proceso de regeneración. Los modelos de regresión logarítmica ofrecen buenos ajustes a las diferentes respuestas regenerativas. La

comparación de tasas de recuperación entre áreas no pudo ser correlacionada con ningún parámetro ambiental considerado en el estudio por lo que se precisa una ampliación de la muestra con periodos de tiempo más reducidos.

Tabla 2. Cálculo de QNDVI entre NDVI fuego áreas parciales y NDVI control

AÑO	NDVI FUEGO AREAS PARCIALES	NDVI CONTROL	QNDVI	T (DÍAS)
2012	0,313505283	0,139580648	2,24605121	0,000001
	0,270785977	0,139580648	1,93999656	0,000001
	0,223600729	0,139580648	1,60194649	0,000001
	0,212522256	0,139580648	1,52257679	0,000001
2013	1,8893E-14	0,327929352	5,7613E-14	280
	0,363623116	0,327929352	1,1088459	280
	0,30190064	0,327929352	0,92062708	280
	0,307404986	0,327929352	0,93741223	280
2014	0,347546651	0,327676481	1,0606396	560
	0,354585903	0,327676481	1,08212192	560
	0,304708447	0,327676481	0,92990637	560
	0,316687008	0,327676481	0,96646243	560
2015	0,208660627	0,206350442	1,01119545	880
	0,21192962	0,206350442	1,02703739	880
	0,163929825	0,206350442	0,79442439	880
	0,163756474	0,206350442	0,79358431	880

2016	0,340002117	0,328988628	1,03347681	1280
	0,340211208	0,328988628	1,03411236	1280
	0,298158868	0,328988628	0,90628928	1280
	0,298801957	0,328988628	0,90824403	1280
2017	0,33106328	0,318335414	1,03998257	1376
	0,326088057	0,318335414	1,02435369	1376
	0,323444693	0,318335414	1,01604999	1376
	0,312498213	0,318335414	0,98166336	1376

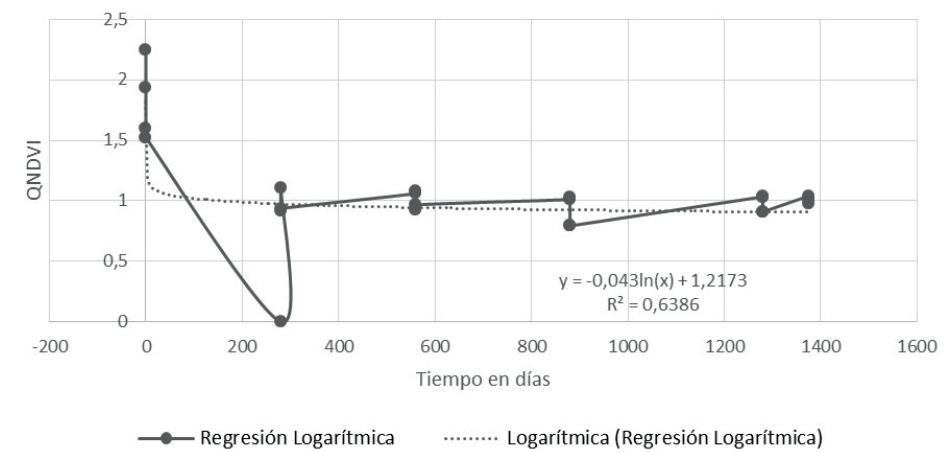
Fuente: Autores

Las variables observadas de NDVI y tiempo, determinaron una relación logarítmica entre los parámetros ambientales y la dinámica de regeneración de cada zona comparada entre los años de estudio del 2012 al 2017 en las cuatro subáreas de estudio.

En la Figura 5 del año 2015 se observó un decrecimiento en la cobertura

vegetal del área de estudio. Este problema fue causado por la presencia de incendios forestales consecutivos en la época de verano, los mismos que fueron causados por factores naturales y antrópicos. Dichos incendios provocaron una pérdida considerable de la cobertura vegetal, ya recuperada desde el año 2012.

Figura 8. Identificación de pixeles para el área de estudio en el Parque Metropolitano Guanguiltagua

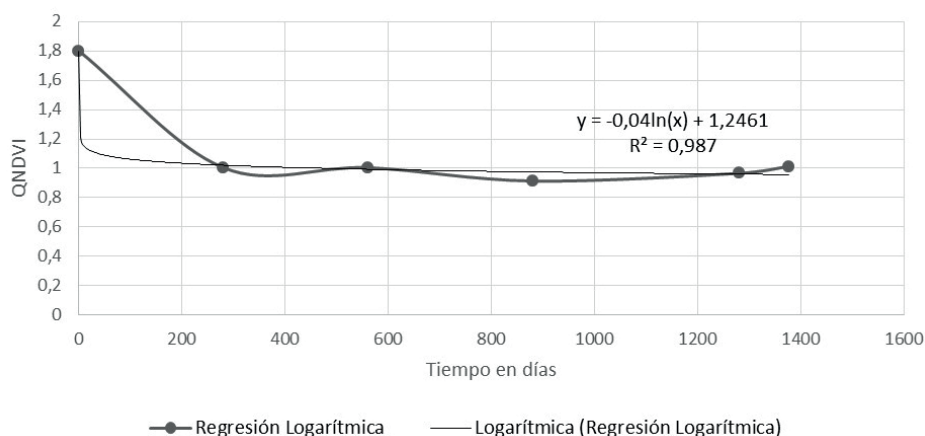


Fuente: Autores

Tabla 3. Cálculo de QNDVI entre NDVI fuego áreas parciales y NDVI control

AÑO	NDVI FUEGO AREA TOTAL	NDVI CONTROL	QNDVI	T (DIAS)
2012	0,251375915	0,139580648	1,80093672	0,000001
2013	0,329470507	0,327929352	1,00469966	280
2014	0,329389212	0,327676481	1,0052269	560
2015	0,18851652	0,206350442	0,91357459	880
2016	0,317930646	0,328988628	0,96638795	1280
2017	0,322598325	0,318335414	1,01339126	1376

Fuente: Autores

Figura 9. Regresión logarítmica área total

Fuente: Autores

Se descartó el valor de NDVI de los píxeles próximos a la carretera, la cual está ubicada al sur-este del parque Metropolitano Guangiiltagua, ya que la incorporación de estos píxeles en el análisis de datos modificó los resultados, generando datos erróneos y negativos. Esta incongruencia de datos de NDVI del rojo e infrarrojo se dio debido a la reflectancia del asfalto.

Mediante la elaboración de los seis mapas realizados entre los periodos

2012 al 2017, que representan los valores de NDVI, en los cuales se identificó la regeneración de la cobertura vegetal del área de estudio mediante un rango de colores, en los que se visualiza un avance o retroceso de la composición florística zonal.

Los resultados mostraron que el área con mayor NDVI de control fue en el año 2016, con un valor aproximado de 0,3289, por otro lado, el área con menor NDVI control fue en el año 2012 con un

valor aproximado de 0,13. Con lo que se obtuvo una referencia que reveló el estado inicial con respecto al área quemada.

El tiempo de recuperación del área total fue aproximadamente 11475 días (31 años), dicho tiempo abarca desde el año de inicio del estudio (2012). Por

otro lado, la comparación de las cuatro subáreas de la zona de incendio, el tiempo calculado fue de 8846 días (24 años). Los datos obtenidos, después de 11475 días, presentaron un valor alto en cuanto al coeficiente de determinación ($R^2=0,987$), lo que sugiere la validez del modelo logarítmico empleado.

5. CONCLUSIONES

La aplicación de los sensores remotos en el ámbito de la gestión y conservación del ambiente es de gran ayuda, considerando ciertas ventajas y procesos que pueden ser optimizados y modelados con estas herramientas. Los ín-

dices ambientales a partir de imágenes satelitales permiten definir la tendencia de un aspecto y más aún un problema ambiental que puede afectar a un territorio como específicamente a un área natural.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los estudiantes de noveno nivel de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana Campus

Sur, Yessenia Barros, Sofia Cabezas, Jossue Flores y Alex Maya por la contribución en la toma de datos de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Mikhail Kanevski, "Local fractality: The case of forest fires in Portugal," *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 479, pp. 400–410, Aug. 2017.
- [2] Julian Campo, "Emerging contaminants related to the occurrence of forest fires in the Spanish Mediterranean," *Sci. Total Environ.*, vol. 603–604, pp. 330–339, Dec. 2017.
- [3] C. Kuenzer, S. Dech, and W. Wagner, "Remote Sensing Time Series Revealing Land Surface Dynamics: Status Quo and the Pathway Ahead," Springer, Cham, 2015, pp. 1–24.
- [4] X. Guo, H. Zhang, Z. Wu, J. Zhao, and Z. Zhang, "Comparison and Evaluation of Annual NDVI Time Series in China Derived from the NOAA AVHRR LTDR and Terra MODIS MOD13C1 Products," *Sensors*, vol. 17, no. 6, p. 1298, Jun. 2017.
- [5] "Landsat — Earth observation satellites," Reston, VA, 2015.
- [6] Department of the Interior U.S. Geological Survey, "Landsat 8 (L8) Data Users Handbook," 2016.
- [7] B. Zhang, L. Zhang, D. Xie, X. Yin, C. Liu, and G. Liu, "Application of synthetic NDVI time series blended from landsat and MODIS data for grassland biomass estimation," *Remote Sens.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–21, 2016.

- [8] EPMMOP, “El parque Metropolitano Guanguiltagua reverdece.” [Online]. Available: <http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/index.php/noticias/boletines/item/1198-el-parque-metropolitano-guanguiltagua-reverdece>. [Accessed: 27-Oct-2017].
- [9] X. Pesquer, Lluís; Domingo, Cristina; Pons, “Generación de un banco de áreas de reflectividad pseudoinvariante para la Península Ibérica mediante imágenes MODIS,” no. 1, pp. 493–496, 2015.
- [10] C. J. Tucker, “Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 8, no. 2, pp. 127–150, May 1979.

Reduction of enviromental impact generated by home solid waste with the use of larva of beetle in Colombia

Disminución del impacto ambiental generado por residuos sólidos domiciliarios en Colombia con el uso de larvas de escarabajos

L. Cuellar¹, P. Acosta², M. Diaz³, G. Viasus⁴

Abstract: Population growing in the world has generated an increase in organic waste generation; the urban organic solid waste and organic fraction constitute around 70% of total volume of generated waste, this accelerated increase has forced the usage of techniques for final dispositions of waste. Among of these dispositions, the most used are the filled sanitary, rubbish tips and incineration, techniques which present a big environmental impact. In fact, it is important to search an integral solution that contributes to adequate management of them, promoting final products of these process and minimizing a big quantity of environmental impacts that bring out to sustainable of natural resources. According to that, in Colombia, Boyacá a solution has been offered to this problem. This solution presents an alternative of technologies as the use of being organisms such as larva of saprophyte beetles which using their metabolism can bio-repair this kind of waste giving a valued added in the production of fertilize. The larvas of beetles have been use few in transformation systems of (RSU). In Colombia this system transformation has been im-

plemented since 2002 for first time giving good results in fertilize production: by one tone of organic garbage, 600 to 900 kilos are obtained thanks to bio-transportation done by beetles. This research could identify some microbial populations that gave special properties favoring the growing and production of farming especially green vegetables. These results permit to obtain scientist knowledge encouraging the use of beetles as a good alternative of integral management RSU.

Keywords: beetles, microbial populations, organic solid waste.

Resumen: El crecimiento de la población en el mundo ha generado un incremento en la generación de residuos orgánicos; los residuos sólidos orgánicos urbanos (RSU) y la fracción orgánica constituyen cerca del 70% del volumen total de desechos generados en el mundo, este incremento acelerado ha obligado el uso de técnicas para la disposición final de los desechos; dentro de las más usadas se encuentran los rellenos sanitarios, vertederos e incineración, técnicas que presentan

- 1 Luz Angela Cuellar. Docente de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja, Grupo de Investigacion ACBI, microbiología Ambiental, hidrobiología, impactos ambientales, restauración ecológica y biotecnología Ambiental, luz.cuellar@usantoto.edu.co
- 2 Pedro Acosta. Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja, Grupo de Investigacion ACBI, Calidad del agua, Residuos sólidos, Hidráulica, Hidrología y temas medio ambientales. (e-mail: dec.ambiental@usantoto.edu.co)
- 3 Monica Díaz. Docente de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja, Grupo de Investigacion ACBI, ecología (e-mail: monica.diazp@usantoto.edu.co)
- 4 German Viasus. Gerente general de la empresa tierra viva (e-mail: germanvia@gmail.com)

grandes impactos ambientales, en este sentido es primordial buscar una salida integral que contribuya al manejo adecuado de los mismos, potenciando los productos finales de éstos procesos y minimizando un gran número de impactos ambientales, que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales. En este sentido en Colombia específicamente en Boyacá se ha tratado de buscar una solución a dicha problemática, dicha solución la representa el manejo de tecnologías alternativas, como el uso de organismos vivos como larvas de escarabajo saprófitos, los cuales utilizando su metabolismo puedan biorremediar este tipo de desechos otorgándole un valor agregado en la producción de abono. Las larvas de escarabajos han sido poco usadas en los sistemas de transformación de

RSU. En Colombia se implementó por primera vez desde el año 2002 en Boyacá, arrojando buenos resultados en la producción de abono: por una tonelada de basura orgánica se obtiene de 600 a 900 kilos a partir de la biotransformación realizada por las larvas. En esta investigación se logró la identificación de ciertas poblaciones microbianas que le otorgan propiedades especiales favoreciendo el crecimiento y producción de los cultivos específicamente hortalizas, estos resultados permiten obtener conocimiento científico, incentivando el uso de larvas de escarabajo como una buena alternativa para el manejo integral de RSU.

Palabras clave: biorremediación, Boyacá, Larvas de escarabajos, residuos orgánicos urbanos.

1. INTRODUCCIÓN

En el manejo de residuos sólidos, actualmente se están utilizando técnicas como la segregación en la fuente, reciclaje, incineración, compostaje y centros recolectores, como alternativas para reducir el volumen de desechos que llegan a los rellenos sanitarios [1]; sin embargo, es necesario la aplicación de políticas e instrumentos económicos para el desarrollo sostenible. Dado lo anterior, existen entidades como Tierra Viva, empresa boyacense que ha buscado una solución a la problemática del manejo y disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU)

producidos en la ciudad de Tunja mediante el uso de larvas de escarabajo, como tecnología alternativas para el proceso de biotransformación de los RSU. Debido a que existe poca documentación del proceso a nivel microbiológico, el objetivo de este trabajo es describir la actividad microbiana en el proceso de biotransformación realizado por las larvas.

Como resultado del proceso de Biotransformación se obtiene un producto orgánico (bioabono), que se comercializa en diferentes viveros a nivel regional.

2. METODOLOGÍA

Las muestras se recolectaron en las plazas de mercado de la ciudad de Tunja, posterior a esta recolección se realiza una homogenización de todos los sustratos. Luego, se realizó la caracterización

microbiológica de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana [4].

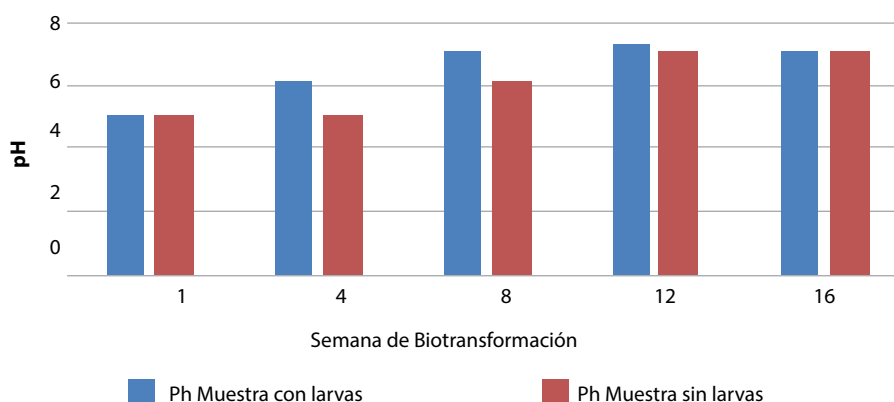
Los microorganismos se caracterizaron mediante morfología microscópica y colonial durante todas las etapas del proceso hasta la obtención del bioabono [2].

3. RESULTADOS

La medición de pH realizada mediante un pH-metro marca HI4221, cuya medición se realizó cada 4 semanas y durante 4 meses, se muestra en la Figura 1. Estos resultados permiten determinar que el

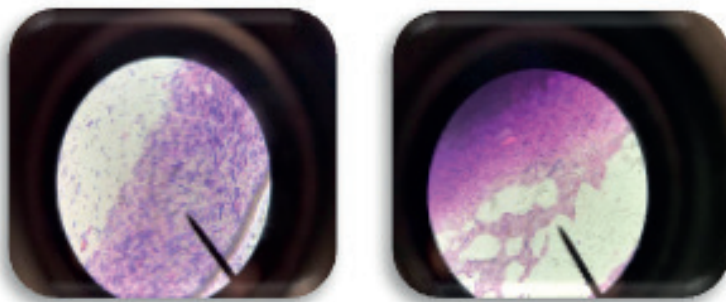
comportamiento del pH es realizado por bacterias acidófilas [3], en menor tiempo, pero que luego de pasar la semana doce estas muestras se estabilizan y finalmente se obtienen pH neutros al final del proceso.

Figura 1. Comparación de cambios en el pH entre la muestra con larvas y la muestra sin larvas



Fuente: Autor

Figura 2. Caracterización microscópica de las muestras



Fuente: Autor

Dentro de los principales resultados se destaca la presencia de hongos y ac-

tinomicetos, los cuales se caracterizaron mediante morfología microscópica y co-

lonial. Estos organismos presentan una gran capacidad para degradar residuos de plantas y animales como celulosa, quitina

y pectina como se muestra en la Figura 2, lo que permite explicar la velocidad en la degradación de estos residuos [3]-[5].

4. CONCLUSIONES

La eficiencia en la degradación de la materia orgánica dentro del proceso de biotransformación, depende de la sinergia existente entre microorganismos y larvas de escarabajo, produciendo una aceleración en el proceso de descomposición del material orgánico [6]. De

acuerdo a lo anterior, se concluye que tanto la presencia de los microorganismos mesófilos y termófilos, así como la degradación por parte de las larvas durante todo el proceso, es una solución efectiva, viable y económica en el manejo adecuado de RSU.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja.

REFERENCIAS

- [1] Chung Pinzas, AR. Análisis económico de la ampliación de la cobertura de manejo de residuos sólidos por medio de segregación en la fuente en Lima Cercado. Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Industrial. UNMSM, Lima, 2003.
- [2] Escobar Natalia, et al. Boletín científico, centro de museos, museo de historia natural, Universidad de Cundinamarca, ISSN 0123 – 3068. 16 (1): 75 – 88. 2012
- [3] Jaramillo G, Zapata L. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia, tesis de especialización en gestión Ambiental, Universidad de Antioquia, 2008.
- [4] NTC 44912. Microbiología de alimentos y alimentos para animales. Preparación de muestras para ensayo. Suspensión inicial y diluciones decimales para análisis microbiológico. Parte 2. Reglas específicas para la preparación de carne y productos cárnicos, 2015.
- [5] Madigan, Michael; Martinko, John M; Parker, Jack. “Brock Biología de los microorganismos” ; 10ª edición; Pearson educación; Madrid. 2004.
- [6] Mac Cormack W. P. El estrés ambiental, la selección del inoculo y la biodisponibilidad como condicionantes de la eficiencia de la biorremediación de hidrocarburos en Antártida: aplicación secuencial de bioestimulación y bioaumentación como estrategia de optimización. Universidad de Buenos Aires. 2014

Analysis of environmental taxes in Ecuador

Análisis de los impuestos ambientales en Ecuador

B. Garabiza¹, V. Pluas², E. Ladinez³, V. Rojas⁴

Abstract: *Taxes represent one of the main income of the economy, these as well as being means of collection are used as instruments to stimulate investment in different programs and projects including the environment. Environmental taxes have proven their efficiency and the objective for which they were established. In the present work it was analyzed the main concepts of sustainable development that include the Pigovian tax and the green taxes established in Ecuador. The results obtained were based on statistics from Servicio de Rentas Internas (SRI), where the qualitative and quantitative method was used to determine the effects of these taxes in the society. To sum up, it is evidenced the effectiveness of environmental taxes in the country. However, policies should continue to be implement to mitigate the impact of environmental pollution.*

Keywords: *economics, taxes, instruments, society, sustainable development*

Resumen: Los impuestos representa uno de los principales ingresos para la economía, estos además de ser medios de recaudación sirven como instrumentos para estimular la inversión en distintos programas y proyectos incluyendo el ambiental. los impuestos ambientales han demostrado su eficiencia y el objetivo para el cual fueron instaurados. En el presente trabajo se analizaron los principales conceptos de desarrollo sustentable que incorpora el impuesto pigoviano y los impuestos verdes establecidos en el Ecuador. Los resultados obtenidos fueron a través de las estadísticas del Servicio de Rentas Internas (SRI), donde se utilizó el método cualitativo y cuantitativo para determinar los efectos de estas tasas tributarias en la sociedad. A manera de conclusión se evidencio la efectividad de los impuestos ambientales en el país. No obstante, se deben seguir aplicando políticas encaminadas a este tema a fin de mitigar el impacto de la contaminación ambiental.

Palabras clave: economía, impuestos, instrumentos, sociedad, desarrollo sustentable.

1 Bella Del Rocío Garabiza Castro, Docente de la Facultad de Economía, Magíster en Finanzas y Proyectos Corporativos. Universidad de Guayaquil, bella.garabizac@ug.edu.ec

2 Vanessa Alexandra Pluas Zambrano, Estudiante de Economía, Universidad de Guayaquil, vanessa.pluas@ug.edu.ec

3 Erick Milton Ladinez Gómez, Estudiante de Economía, Universidad de Guayaquil, erick.ladinezg@ug.edu.ec

4 Víctor Emilio Rojas Zavala, Estudiante de Economía, Universidad de Guayaquil, victor.rojasz@ug.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sustentable busca satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la de las generaciones futuras para eso propone una nueva forma de producción considerando además de los beneficios económicos, el cuidado ambiental y el bienestar de la sociedad, constituyendo así tres dimensiones: la económica, ecológica y social.

La dimensión ecológica es tal vez la más importante de todas, debido a que todos los procesos productivos requieren de materia prima y es el entorno natural el que provee de ella.

Son varias las medidas que pueden aplicar los gobiernos para fomentar el cuidado ambiental como: impuestos, subsidios, o inversión directa.

En cuanto impuestos, en economía ambiental existe el concepto de impues-

to pigouviano el cual trata de reducir las externalidades negativas (como contaminación) causadas principalmente por los procesos productivos.

En Ecuador durante el 2011 fueron aprobados los llamados “impuestos verdes” los cuales se derivan en dos tipos de tasas impositivas: El impuesto a la contaminación vehicular, y el impuesto a botellas de plástico no retornables.

Este trabajo se lo realizó con el principal objetivo de valorar el comportamiento de la aplicación estos impuestos para ello se analizarán los diferentes datos proporcionados por el Servicio de Rentas Internas del Ecuador y así se podrá ver su efectividad en neutralizar las externalidades negativas, y la importancia por el cual fueron implementados.

2. DEFINICIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

El desarrollo sustentable está ligado intrínsecamente con el cuidado y mantenimiento del entorno natural y con la equidad social. Estableciendo de esta manera tres dimensiones o campos de acción: Económico, Ecológico y Social.

Este concepto se originó en los años 50's, cuando la sociedad se encontraba preocupada debido a los daños que presentaba el medio ambiente causados por la Segunda Guerra Mundial. Pero es a partir de 1987 que este concepto toma fuerza cuando la Co-

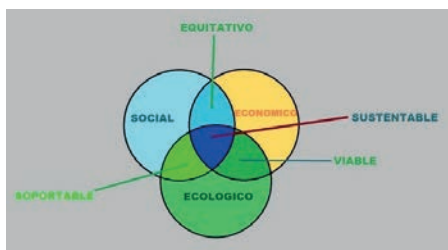
misión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD) de las Naciones Unidas presentó el informe “Nuestro Futuro Común”, conocido también como “Informe Brundtland”, en el que se difunde y acuña la definición más conocida sobre el desarrollo sustentable: [1]

“Desarrollo sustentable es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” [2].

2.1 Las dimensiones del desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable está compuesto por 3 dimensiones: Ecológica, Social y económica.

Figura 1. Dimensiones del Desarrollo Sustentable



Fuente: Los autores

En el ámbito ecológico, tal vez el más importante de todos, consta el compromiso con el entorno ambiental, en donde se debe orientar el proceso productivo a reducir la contaminación que genera, fomentar el reciclaje en cada uno de los departamentos que conforman la industria, optimizar el uso de energía, optimizar el uso de las materias primas, etc. (Esto visto desde una perspectiva micro).

En un ámbito más amplio es imposible obtener un nivel de desarrollo ni

la vida, sin un sustento de la naturaleza. Es decir, que inevitablemente los modelos de desarrollo deben estar vinculados a proteger el entorno natural. Dentro de un modelo de desarrollo sustentable. El uso de las materias primas o recursos naturales están limitados principalmente por la capacidad de regeneración que posea. En cuanto a la generación de residuos están en función a la capacidad de absorción, asimilación que posea la naturaleza.

La dimensión social está orientada principalmente a mejorar la calidad de vida de la sociedad. Buscando formas eficientes de satisfacer las necesidades que presentan la sociedad. Lo cual conlleva a dar importancia a aquellos individuos más desfavorecidos, tratando de luchar contra el principal problema de la sociedad, es decir, la pobreza causada por la ineficiente distribución de las riquezas.

En la dimensión económica, en el concepto de sustentabilidad se debe tener en cuenta los factores y daños que causan al medio ambiente (externalidades) causadas por la explotación de los recursos y no solo tomar en cuenta la viabilidad económica.

3. DESARROLLO SUSTENTABLE EN EL ECUADOR

Ecuador se ha caracterizado desde sus inicios como un país subdesarrollado, actualmente conocidos como “en vías de desarrollo”, a pesar de ello Ecuador ha sido galardonado por las Naciones Unidas como modelo de desarrollo

sostenible. (Ministerio del Ambiente del Ecuador). Los motivos que contribuyeron a este reconocimiento son principalmente: Fuentes de energías limpias, es decir, las hidroeléctricas establecidas en Ecuador, políticas dirigidas a erradicar

la pobreza y disminuir la desigualdad socio-económica de sus habitantes, impuestos que fomentan una buena conducta ambiental, eso es lo que se afirmó en el marco de la XI Reunión Anual de las Naciones Unidas, Organizaciones Sociales y Sociedad Civil, mismo que se efectuó entre el 17 y 18 de noviembre del 2014 en Washington, DC. [3]

Al no tener autonomía tecnológica, o poca industrialización, las emisiones de CO₂ originadas por procesos industriales no son muy significativas en comparación con los países industrializados. Pero esto no se ha vuelto un impedimento para que Ecuador ponga en marcha normas que contribuyan a preservar el medio ambiente.

3.1 Normativa en Ecuador para preservar el ambiente

En la constitución vigente del Ecuador la naturaleza ha tomado un rol importante y se han generado una serie de derechos para ella, entre ellos están: [4]

- Art. 71 "...La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se

respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos..."

- Art 72 "...La naturaleza tiene derecho a la restauración..."
- Art 73 "...El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales..."
- Art 74 "...Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir..."
- Art. 300.- El régimen tributario se regirá por los principios de generalidad, progresividad, eficiencia, simplicidad administrativa, irretroactividad, equidad, transparencia y suficiencia recaudatoria. Se priorizarán los impuestos directos y progresivos.

La política tributaria promoverá la redistribución y estimulará el empleo, la producción de bienes y servicios, y conductas ecológicas, sociales y económicas responsables.

4. SITUACIÓN AMBIENTAL DEL ECUADOR A NIVEL INTERNACIONAL

Ecuador es considerado el segundo país de América Latina con mayor territorio dedicado a la protección de ecosistemas, con un 33,26% de su superficie, este porcentaje de áreas protegidas se encuentra formada por 11 parques Nacionales, 5 Reservas Biológicas, 1

Reserva Geobotánica, 9 Reservas Ecológicas, 4 Reservas Marinas, 6 Áreas Nacionales de Recreación, 4 Reservas de Producción de Fauna, 10 Refugios de Vida Silvestre y 1 Área Ecológica de Conservación Municipal. [5]

Según el centro de Conservación del Medio Ambiente, Ecuador se encuentra en sexto lugar de un grupo de 17 países mega diversos, que en su conjunto contienen las dos terceras partes de toda la biodiversidad del mundo.

4.1 Problemática ambiental en Ecuador

A pesar de que la constitución ampare muchos derechos a la naturaleza en la práctica no se cumplen, son muchas las críticas de los grupos ecologistas hacia las medidas que tomó el gobierno, medidas como: mega minería, ampliación

de la frontera petrolera, monocultivos, y una de las más controversiales, la última medida del ex mandatario Rafael Correa la apertura a las semillas y cultivos transgénicos, todas estas medidas están en contra a lo propuesto en la constitución ecuatoriana.

Otro de los grandes problemas ambientales que presenta el Ecuador es la deforestación, que tuvo una proyección de 55.000 hectáreas al año entre 2013 y 2017 según un informe del Plan Nacional de Restauración Forestal del Ministerio de Ambiente.

5. POLITICAS AMBIENTALES EN ECUADOR

Las principales políticas ambientales que rigen el país son:

- La ley de Gestión Ambiental.
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
- Políticas Básicas Ambientales Del Ecuador
- Código Orgánico Ambiental (2016)

6. MEDIDAS AMBIENTALES PUESTAS EN PRÁCTICA POR ECUADOR

6.1 De protección

Desde el 2008 se implementó el programa “Socio-Bosque”, este proyecto responde a tres objetivos indispensables para un desarrollo sustentable:

1. Conseguir proteger los bosques, páramos, vegetación nativa y sus valores ecológicos, económicos y culturales.
2. Conservar las áreas de bosques nativos, páramos y otras formaciones nativas del país reduciendo las tasas de deforestación (al 50%) y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas.
3. Contribuir a la mejora de las condiciones de vida de la población que participe en este proyecto por un desarrollo sustentable.

Este programa arrojó sus primeros resultados en 2012, con el primer millón de hectáreas conservadas. Durante el 2015 este programa impulsó la reforestación de más de 150 mil hectáreas.

El reciclaje es fundamental para llegar a un desarrollo sostenible, es por ello que el Ministerio del Ambiente, intenta fortalecer esta medida implementando el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos sólidos.

Hasta la fecha se han recuperado 4.763 millones de botellas plásticas, 1,5 millones de neumáticos fuera de uso y 812 mil celulares. Además, la política participativa entre la Autoridad Ambien-

tal y los Gobiernos Autónomos Descentralizados permitió que se duplicara en 2015 en número los sitios de disposición final pasando de 44 en 2012 a 96 en 2015.

6.2. Tributarias

- Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular (Entró en vigencia en el 2012)
- Impuesto a las botellas plásticas no retornables. (Aprobado en 2011)

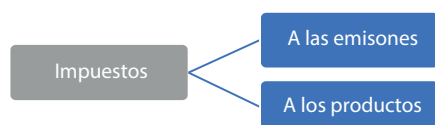
7. INSTRUMENTOS FISCALES UTILIZADOS EN LA ELABORACION DE POLITICA AMBIENTAL

Los principales instrumentos que se utilizan en la elaboración de política ambiental son:

- Impuestos
- Subsidios
- Inversión gubernamental

Los impuestos y subsidios son las principales armas tributarias que tiene un país para reducir externalidades negativas, o fomentar cambios positivos.

Figura 2. Clasificación de los impuestos



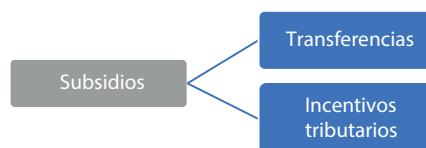
Fuente: Los autores

Impuestos a las emisiones, son aquellos que van dirigidos a procesos productivos que generan Dióxido de Carbono (CO2), así como a vehículos que representan gran cantidad de emi-

sión de CO2, debido a su mecánica deteriorada u obsoleta.

Impuestos a los Productos, a aquellos productos que representen peligro al ambiente ya sea por su contenido o envase, aquí se podrían destacar los pesticidas utilizados en la actividad agrícola.

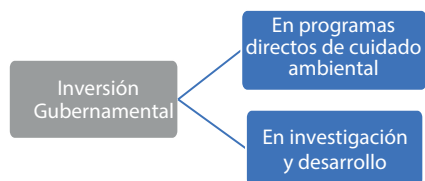
Figura 3. Clasificación de los subsidios



Fuente: Los autores

En cuanto a subsidios, tenemos las transferencias directas para que la sociedad opte por adoptar un sistema amigable al medio ambiente. También tenemos los incentivos tributarios, es decir, beneficiar a aquellos que cumplan con las normas ambientales.

Figura 4. Distribución de la Inversión Gubernamental



Fuente: Los autores

La inversión gubernamental constituye otro de los principales instrumentos tributarios, dentro del ámbito ambiental pueden establecerse programas que actúen directamente en el cuidado ambiental,

así como también se debe invertir en investigación y desarrollo en busca de nuevas formas de producción que sean amigables con el medio ambiente.

3.1 Impuesto Pigouviano

La contaminación, el ruido de las fábricas, o cualquier otra consecuencia negativa causada al entorno natural, provocado por actividades productivas de una industria o empresa, e incluso por una persona individual, es lo que en economía se denomina “externalidad negativa”. El impuesto pigouviano usa

medidas económicas para tratar de frenar la contaminación, controlando estas llamadas externalidades negativas.

Este impuesto se basa en el principio de que el entorno natural es un bien común, y debido a esto, es responsabilidad del gobierno su cuidado. Esta tasa impositiva trata de reducir estas externalidades negativas, implicándola directamente en los costos de producción, al igualar los costos marginales privados y los costos marginales sociales.

3.2 Medidas tributarias de Ecuador

En el presente trabajo se analizarán las 2 principales medidas tributarias que ha tomado Ecuador.

- Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular (entró en vigencia en el 2012)
- Objetivo: Reducir la contaminación del ambiente producida por el uso de vehículos motorizados de transporte terrestre [4]
- Impuesto a las botellas plásticas no retornables. (Aprobado en 2011)
- Objetivo: Disminuir la contaminación ambiental y estimular el proceso de reciclaje [5]

8. CÁLCULOS

8.1 Impuesto ambiental a la contaminación vehicular

Para realizar el cálculo de este impuesto es necesario ejecutar la siguiente fórmula:

$$IACV = [(Cilindraje - 1500) \times t] \times (1 + \text{factor de ajuste}) \quad (1)$$

Para ejecutar esta fórmula es necesario conocer la información mostrada en la Tabla 1, que provee el valor de imposición específica por el cual de-

berá ser multiplicado el cilindraje del motor del vehículo una vez se haya restado 1500 el cual representa el cilindraje admitido.

Tabla 1. Cilindraje

No.	Tramo cilindraje - Automóviles y motocicletas (b)*	\$ / cc. (t)*
1	Menor a 1.500 cc	0.00
2	1.501 - 2.000 cc	0.08
3	2.001 - 2500 cc	0.09
4	2.501 - 3.000 cc	0.11
5	3.001 - 3.500 cc	0.12
6	3.501 - 4.000 cc	0.24
7	Más de 4.000 cc	0.35

*b = base imponible (cilindraje en centímetros cúbicos)

*t = valor de imposición específica

Fuente: SRI [6]

Para la otra parte de la fórmula se deberá conocer el factor de ajuste, el cual estará dado por la antigüedad del vehículo, según muestra la Tabla 2.

Tabla 2. Factor de Ajuste

No.	Tramo de Antigüedad (años) - Automóviles	Factor (FA)
1	Menor a 5 años	0%
2	De 5 a 10 años	5%
3	De 11 a 15 años	10%
4	De 16 a 20 años	15%
5	Mayor a 20 años	20%
6	Híbridos	-20%

Fuente: SRI [6]

8.2 Impuesto a las botellas plásticas no retornables

La tarifa establecida por cada botella plástica gravada con este impuesto será de hasta dos centavos de

dólar de los Estados Unidos de América del Norte (0,02 USD), valor que se devolverá en su totalidad a quien recolecte, entregue y retorne las botellas, para lo cual se establecerán los

respectivos mecanismos tanto para el sector privado como público para su recolección, conforme disponga el respectivo reglamento. El SRI determinará el valor de la tarifa para cada caso concreto. [7]

9. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE ESTA MEDIDA

9.1 Impuesto ambiental a la contaminación vehicular ambiental a la contaminación vehicular, expresado en miles de dólares.

La Tabla 3 muestra los valores recaudados por concepto del impuesto

Tabla 3. Recaudación del impuesto ambiental a la contaminación vehicular (miles de USD).

Año	Meta	Recaudación	Cumplimiento	Variación
2012	69.900,00	95.770,18	137%	-
2013	104.719,06	114.809,21	110%	20%
2014		137.536,70		20%
2015	163.299,00	113.201,00	69%	-18%
2016	118.796,00	112.025,00	94%	-1%

Fuente: SRI

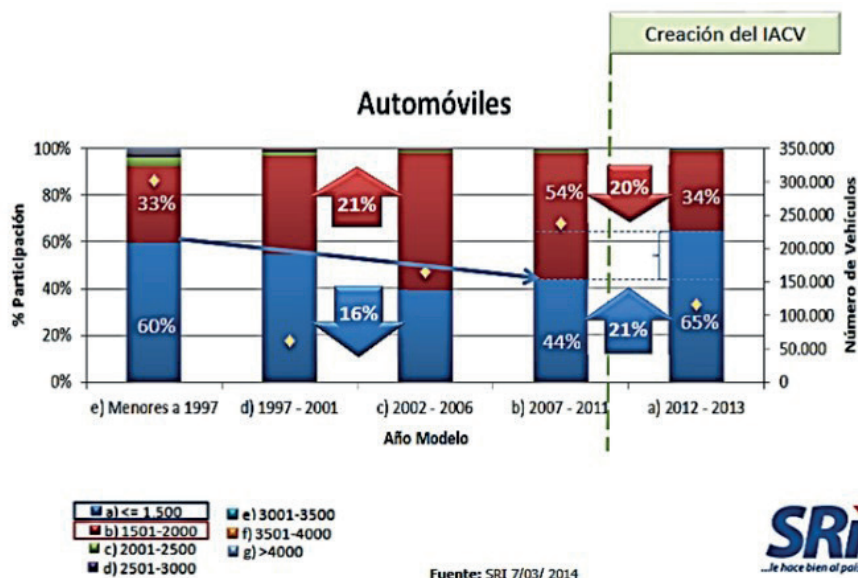
Durante los primeros años que se puso en ejecución esta carga impositiva, hasta el 2014 se notaba una variación positiva tomando en cuenta que esta recaudación entra a formar parte del presupuesto general el estado y es ejecutado a través de distintos proyectos de cuidado ambiental para de esta forma alcanzar un desarrollo sostenible y sustentable. Por esta razón este impuesto va dirigido a vehículos con cilindrajes altos y con mucha antigüedad para reducir las emisiones, en el 2015 existió una disminución en comparación con el 2014, lo cual significó la reducción de vehículos que emitían gran cantidad de CO2 al ambiente.

Los resultados muestran que la aplicación de este impuesto ha superado lo esperado, reduciendo la cantidad de vehículos que emiten gran cantidad de gases tóxicos.

El siguiente gráfico evidencia el cambio que existió en los vehículos en cuanto al cilindraje que poseen.

Desde que se aplicó esta medida el porcentaje de autos con un cilindraje mayor a 1.500 cc, es decir aquellos que causan gran emisión de gases tóxicos al ambiente bajo de un 54% hasta 34%, llegando a reducirse en un 20%, y aquellos vehículos con cilindraje menor aumentó de 44% a un 65%.

Figura 5. Cilindraje de los vehículos



Fuente: SRI

De esta manera se está disminuyendo la emisión de gases tóxicos proveniente de vehículos motorizados hacia el ambiente, lo cual se deriva en aire más limpio para la sociedad.

Como respuesta al conflicto la sociedad ha tomado conciencia del problema medioambiental que generan los vehículos se encuentra contribuyendo progresivamente a la reducción de la

contaminación comprometiéndose en la utilización de vehículos más amigables con el ambiente

9.2 Impuesto a las botellas plásticas no retornables

La Tabla 4 muestra los valores recaudados por concepto del impuesto a las botellas plásticas no retornables, expresado en miles de dólares.

Tabla 4. Recaudación del impuesto a las botellas plásticas no retornables (miles de USD)

Año	Recaudación	Variación
2012	14.867,90	-
2013	16.375,22	10%
2014	22.237,50	36%
2015	21.638,00	-3%
2016	28.244,00	31%

Fuente: SRI

Este impuesto presenta variaciones positivas a partir del año de referencia, pero la recaudación del 2015 fue menor con respecto al 2014 debido a que en se redujo la cantidad de botellas plásticas no retornable. El hecho generador de este impuesto es embotellar bebidas alcohólicas, gaseosas y agua en este tipo de botellas, para que de esta forma el consumidor pueda recuperar el valor pagado por este gravamen, con el objetivo de disminuir la contaminación ambiental y estimular el proceso de reciclaje.

Un año después de haber puesto esta medida en marcha Ecuador fue reconocido con un Récord Mundial Guinness

por la mayor cantidad de botellas recicladas en una semana, parte de la recaudación se destina a los gestores de reciclaje y a la iniciativa Yasuní-ITT la cual pretende dejar sin explotar una reserva petrolera en una zona de alta biodiversidad de la Amazonía a cambio de donaciones internacionales.

Los resultados sociales de la aplicación de esta medida es principalmente el fomento al reciclaje (botellas plásticas), generando una fuente de ingreso para personas que se dedican a esta actividad. Los resultados ambientales son obviamente la reducción de botellas plásticas y la degradación ambiental.

10. CONCLUSIONES

Ecuador ha sido reconocido a nivel internacional por las medidas ambientales que ha tomado, como la protección de áreas protegidas que garantizan la cobertura y conectividad de ecosistemas importantes.

Estas se derivan en un 33,26% de su territorio constituido por 11 parques Nacionales, 5 Reservas Biológicas, 1 Reserva Geobotánica, 9 Reservas Ecológicas, 4 Reservas Marinas, 6 Áreas Nacionales de Recreación, 4 Reservas de Producción de Fauna, 10 Refugios de Vida Silvestre y 1 Área Ecológica de Conservación Municipal, medidas tributarias.

Ecuador presenta grandes problemas de deforestación durante el 2013-2017 se estimó una deforestación de 55.000 hectáreas, para tratar de solucionar esta

problemática surgió el plan “socio-bosque” decisión tomada por el gobierno ecuatoriano junto con el Ministerio del Ambiente este programa consiste en dar incentivos económicos a cambio de la protección de los ecosistemas y durante el 2015 fomento la reforestación de más de 150.000 hectáreas.

Las medidas tributarias han contribuido en la lucha por llegar a un desarrollo sustentable, el impuesto Ambiental Vehicular ha logrado exitosamente uno de sus objetivos el cual es que existan menos autos con un cilindraje mayor a 1500 cc, pues durante el primer año en que se puso en marcha logró reducirlos en un 20%.

Mientras que el impuesto a las botellas plásticas no retornables ha conseguido beneficios sociales y que parte de la

sociedad obtenga ingresos con esta actividad para satisfacer sus necesidades, lo-

grando obtener un medio ambiente más limpio reduciendo las externalidades.

REFERENCIAS

- [1] UANL, “Universidad Autónoma de Nuevo León,” 1 octubre 2013. [En línea]. Available: <http://sds.uanl.mx/el-concepto-desarrollo-sustentable/>.
- [2] H. Brundtland, 1987. [En línea]. Available: <http://sds.uanl.mx/el-concepto-desarrollo-sustentable/>.
- [3] Ministerio del Ambiente del Ecuador, “Ministerio del Ambiente del Ecuador,” [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/naciones-unidas-reconoce-a-ecuador-como-modelo-de-desarrollo-sostenible/>. [Último acceso: 30 agosto 2017].
- [4] A. U. Del Campo, “Instituto Interuniversitario de Desarrollo Social y Paz,” 27 enero 2013. [En línea]. Available: <http://www.rebelion.org/docs/163249.pdf>. [Último acceso: 03 septiembre 2017].
- [5] G. Espinoza, “Universidad de Cuenca,” 2017. [En línea]. Available: dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28072/1/Monografia.pdf. [Último acceso: 02 septiembre 2017].
- [6] SRI, “Servicio de Rentas Internas,” [En línea]. Available: <http://www.sri.gob.ec/de/impuesto-ambiental-a-la-contaminacion-vehicular>. [Último acceso: 29 agosto 2017].
- [7] SRI, “Servicio de Rentas Internas,” 2017. [En línea]. Available: <http://www.sri.gob.ec/web/guest/base-legal9>.
- [8] SRI, “Servicios de Rentas Internas,” [En línea]. Available: <http://www.sri.gob.ec/web/guest/calculo-del-impuesto-ambiental>. [Último acceso: 11 septiembre 2017].
- [9] SRI, “Servicio de Rentas Internas,” 2012. [En línea]. Available: <http://www.sri.gob.ec/web/guest/base-legal9>.

Estimation of the water balance of the Chaquilcay watershed in the interception area with Aguarongo forest, Gualaceo - Ecuador

Estimación del balance hídrico de la microcuenca
Chaquilcay en el área de intersección con el bosque protector
Aguarongo, Gualaceo - Ecuador

P. Duque¹, R. Cajamarca²

Abstract: *The present study estimates the water balance, due to the variation of precipitation and temperature on the Chaquilcay watershed, a natural system that intercepts with the surface of the Aguarongo Forest, Gualaceo-Ecuador. Four meteorological stations of the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI) were studied, divided into climatological and pluviometric, with time series over 30 years, period (1982-2015). To quantify the contributions and losses of water, statistical analyzes of the time series and surveys of in situ information were carried out. The methods used are linear regression, test of gusts and double mass curve to fill and validate the series of precipitation and temperature, in the rain stations were included reference temperatures of the isothermal raster of Ecuador, also a digital model of elevation was used (MDE) to predict heliophania, from the data obtained the evapotranspiration method of Thornthwaite (1948) was applied. The results show acceptance of the meteorological records, while in the soil analysis we obtained humidity 62.38%, organic matter 21.29% and field capacity 18.71 mm and flow of 1.89 m³ / s during the month of May. Finally, the*

water balance indicates 843.7 mm of annual precipitation, a storage difference of 18.71 mm representing 2.22% of total precipitation, a surplus of 144.5 mm and actual evapotranspiration of 680.5 mm, with 17.13% and 80.65% respectively.

Keywords: *water balance, evapotranspiration, watershed, precipitation, Thornthwaite.*

Resumen: El presente estudio busca estimar el balance hídrico, debido a la variación de precipitación y temperatura sobre la microcuenca Chaquilcay, sistema natural que intercepta con la superficie del Bosque Protector Aguarongo, Gualaceo-Ecuador. Se estudiaron cuatro estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), las mismas se dividen en climatológicas y pluviométricas, con series temporales mayores a 30 años, periodo (1982-2015). Para cuantificar los aportes y pérdidas de agua, se realizaron análisis estadísticos de las series temporales y levantamientos de información in situ. Los métodos utilizados son regresión lineal, test de rachas y curva de doble masa para rellenar y validar las series de precipitación

-
- 1 Paola Jackeline Duque Sarango, Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, mención Tratamiento de Aguas, Ingeniera Ambiental, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, miembro del grupo de Investigación en Biotecnología y Ambiente (INBIAM), pduque@ups.edu.ec
 - 2 Ronald Enrique Cajamarca Rivadeneira, Ingeniero Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, miembro del grupo de Investigación en Biotecnología y Ambiente (INBIAM), rcajamarc@est.ups.edu.ec

y temperatura, en las estaciones pluviométricas se incluyó temperaturas referenciales del ráster de isothermas del Ecuador, también se empleó un modelo digital de elevación (MDE) para predecir heliofanía, a partir de los datos obtenidos se aplicó el método de evapotranspiración de Thornthwaite (1948). Los resultados muestran aceptación de los registros meteorológicos, mientras en los análisis de suelo se obtuvo humedad 62.38%, materia orgánica 21.29% y capacidad de campo 18.71 mm

y caudal de 1.89 m³/s durante el mes de mayo. Finalmente, el balance hídrico indica 843.7 mm de precipitación anual, una diferencia de almacenamiento de 18.71 mm representando 2.22% de precipitación total, un excedente de 144.5 mm y evapotranspiración real de 680.5 mm, con 17.13% y 80.65% respectivamente.

Palabras clave: balance hídrico, evapotranspiración, microcuenca, precipitación, Thornthwaite.

1. INTRODUCCIÓN

En América del Sur, el Ecuador es uno de los países privilegiados al abarcar en su territorio a los Andes tropicales, considerados hidrológicamente como una de las regiones más diversas del mundo [1]. Sin embargo, esto se ha ido modificando en los últimos años a consecuencia del acelerado crecimiento demográfico. Donde la subsistencia poblacional se basa en ejercer presión sobre los recursos naturales provocando alteraciones en el ciclo natural del agua, agravando su disponibilidad y limitando la capacidad de los ecosistemas [2]. Esta incidencia del hombre en la naturaleza ha permitido atribuirle directa e indirectamente la responsabilidad sobre los efectos del cambio climático.

Por lo tanto, como el calentamiento de la atmósfera está en paulatino aumento se producen transformaciones en los parámetros climáticos relacionados con el ciclo hidrológico, afectando directamente la disponibilidad de agua, debido a los cambios en los regímenes de precipitación y los procesos de evapotranspiración [3].

A nivel local, la microcuenca de la quebrada Chaquilcay es un componente fundamental del Bosque y Vegetación

Protectora Aguarongo (BVPA), donde el agua es el bien ambiental más importante de este ecosistema, pero esto podría cambiar, porque se ha aprovechado el bosque por encima de sus posibilidades reales, incitando al cambio abrupto de suelo, la expansión de la frontera agrícola [4], y la descarga de desechos orgánicos e inorgánicos [5].

De la misma forma, durante el periodo 2000-2008 se obtuvo la tasa de degradación del bosque de 8.37 Ha/año comprendido por bosque nativo y vegetación arbustiva [5]. Esta pérdida de la vegetación en el área protegida ha dificultado el cumplimiento del ciclo hidrológico produciendo una disminución de este recurso, que relacionada con la frágil interpretación de la gestión y protección hídrica, generan conflictos entre las comunidades asentadas [4] [6].

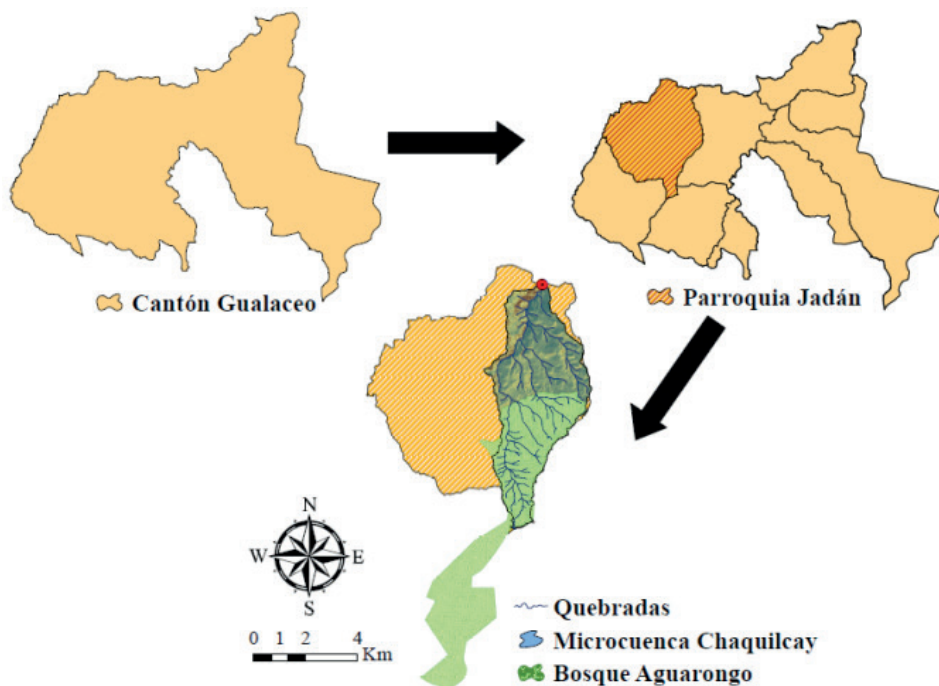
En la información presentada inicialmente y la relación con el lugar de estudio, se prevé que la variabilidad de las características térmicas y de las precipitaciones, influirán en los cambios del balance hídrico de la microcuenca Chaquilcay ¿Cómo será? ¿De qué manera influirá en las condiciones del agua?

1.1 Área de estudio

La delimitación del área de estudio empieza en el Bosque y Vegetación Protectora Aguarongo (BVPA) declarado así mediante Acuerdo Ministerial en 1985 y publicado en el Registro oficial N.- 255 [7]. Su zona de amortiguamiento está caracterizada por bosque húmedo montano bajo (bhMb). Según la delimitación del Ministerio del Ambiente (MAE) divulgada desde el año 2015 en el Sistema Nacional de Información (SNI), el bosque tiene de superficie 1942.18 Ha.

La Microcuenca de la Quebrada Chaquilcay se localiza, en coordenadas geográficas entre los meridianos $78^{\circ}48'54''$ y $78^{\circ}51'08''$ al oeste del meridiano de Greenwich, y los paralelos $2^{\circ}51'28''$ y $2^{\circ}56'35''$ de latitud sur, representado en coordenadas métricas: 742876 - 9683894 y 738733 - 9674451. De acuerdo con la ubicación política territorial está situada en la parroquia Jacán, lugar que pertenece al cantón Gualaceo. Además, esta microcuenca posee una extensión aproximada de 2092.07 Ha. Superficie en donde el Bosque Aguarongo ocupa 939.07 Ha.

Figura 1. Localización de la microcuenca de la quebrada Chaquilcay



Fuente: Autores

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Análisis de las series temporales

Para el relleno de datos de precipitación se emplea el método de regresión lineal, siendo una herramienta muy útil en hidrología, por su eficiencia en la estimación de datos faltantes en regiones costeras y andinas del Ecuador [8]. Al mismo tiempo, para estimar datos faltantes de temperatura puede ser aplicable la regresión lineal, si se llegan a cumplir las siguientes condiciones: distancia menor de 25 km, altitud de ± 30 m y con el mismo tipo de clima [9]; a pesar de tener una altitud discreta de ± 36 m se optó por utilizar esta metodología, porque otros métodos presentan mayor desventaja para ser aplicados. Entre ellos es el promedio aritmético, ajustable cuando los datos faltantes son menores al 10%, y si bien la proporción normal estima con valores faltantes mayores al 10% su confiabilidad depende del número de estaciones, deben ser mínimo tres [10] [11]. Normalmente, para lograr datos aceptables en el relleno información meteorológica, el grado de relación o correlación de Pearson (r) se debe encontrar en un rango de $0.7 \leq r \leq 1$.

2.2 Validación y Homogenización de los valores estimados

Para validar los datos estimados, se realiza el test de secuencias o rachas de Thom y la curva de doble masa. La primera radica en establecer la hipótesis acerca de la mediana para comprobar la confiabilidad de los datos rellenados, y la segunda demuestra mediante una

gráfica la relación que existe entre las variables acumuladas [12].

2.3 Estimación de variables faltantes

Ante la necesidad de realizar una zonificación en SIG de la variable temperatura sobre las microcuenca Chacuilcay se llegó a evaluar las estaciones climatológicas Gualaceo (M0139) y Paute (M0138), logrando observar que la localización de ambas no es la óptima para elaborar la zonificación. Entonces, se propuso realizar la estimación de temperaturas referenciales para estaciones que no miden esta variable, mediante el manejo de la herramienta SIG utilizando *extrac multi values to points* sobre el ráster de isotermas mensuales obtenidas del INAMHI correspondiente al período 1981-2010.

2.4 Heliofanía

En base al Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución espacial de 3m x 3m proporcionada por el Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE), se han desarrollado mapas de pendientes y aspectos con una resolución espacial de 10m. La información sobre la pendiente y aspecto representada en grados será reclasificada mediante intervalos discretos para asignar a cada pixel un solo valor de clase. El tipo de reclasificación que se aplicará es la adoptada por Bezzi & Vitti [13]. De esta manera, para realizar la estimación de las horas de brillo solar se

necesitará enlazar el índice morfológico con el módulo de *Solar Analyst*, en esta herramienta se especifica el período de configuración de tiempo utilizado para calcular las horas de sol.

2.5 Medición de caudales

La medición de caudales se realizará en dos puntos de la quebrada Chaquilcay, en base al método de área-velocidad utilizando equipos como el molinete de taza cónica y el datalogger AquaCalc PRO+.

2.6 Evapotranspiración

Por problemas presentados en zonas montañosas sobre la escasez de información en la medición de variables meteorológicas (radiación, humedad, velocidad y dirección del viento), se llevó a cabo la utilización del método empírico de Thornthwaite. Este método fue desarrollado en condiciones de clima húmedo con vegetación abundante consiguiendo excelentes resultados. Además, aquella confiabilidad de Thornthwaite aumenta aún más cuando se trabaja con periodos largos entre los paralelos 40 °N y 40 °S [14] [15][16].

2.7 Evaluación espacial y temporal del balance hídrico

Para estimar el balance hídrico se utilizará los aportes y pérdidas hídricas de la microcuenca Chaquilcay, se describe en la ecuación 1:

$$P = ET + Q \pm \Delta S \quad (1)$$

Donde:

P = Precipitación, mm.

ET = Evapotranspiración, mm.

Q = Flujo superficial, mm

ΔS = Variación de almacenamiento, mm

Por otro lado, la evaluación espacial del balance hídrico se realizará mediante el software ArcGIS, para ello se necesita la ubicación de las estaciones meteorológicas conteniendo en la tabla de atributos las series de precipitación y otra con los valores de evapotranspiración medias mensuales, utilizando la herramienta Ráster Calculator del módulo *Map Algebra* se cumplirá la siguiente ecuación 2:

$$\Delta = P - ET \quad (2)$$

Donde:

Δ = Cantidad de agua (Superávit o Déficit), mm

P = Precipitación, mm.

ET = Evapotranspiración, mm.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Relleno de datos faltantes

A partir de los hallazgos encontrados en la correlación mes a mes, analizando los promedios mensuales de precipitación de las estaciones Gualaceo, Paute, Sigsig

y Ricaurte se emplea el método de regresión lineal simple, se observa que el valor de r para las estaciones meteorológicas en su mayoría son superiores a 0.5, es decir, poseen una correlación media a buena,

según el grado de evaluación de Chad-dock [10]. También, la misma tabla consta de un número escaso de datos rellenos con una correlación baja a muy baja (< 0.5), esto es porque los fenómenos que se estudian en la climatología son usualmente multivariantes. A pesar de ello, este método es ampliamente utilizado en algunas regiones de Sudamérica ya que no se cuenta con estaciones meteorológicas “cercanas” a la estación de interés [17].

3.2 Estimación de Temperaturas Referenciales

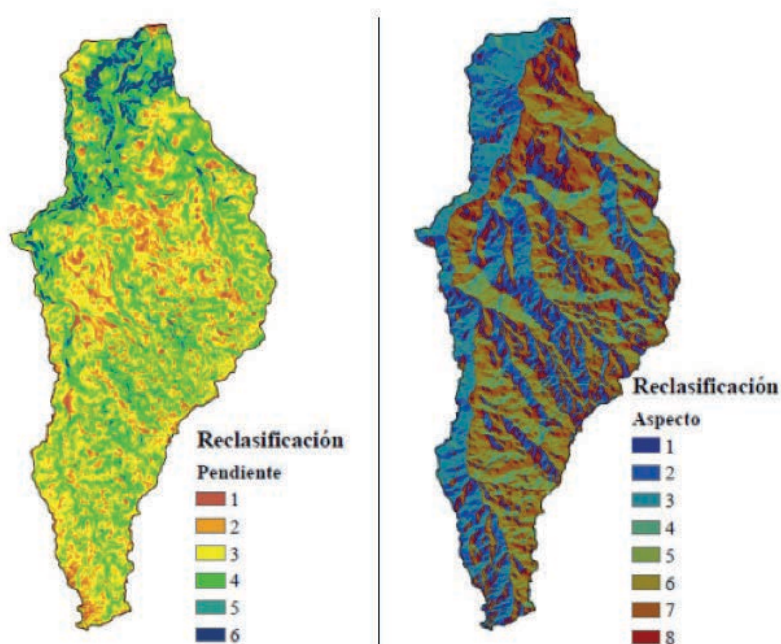
Como las estaciones Sigsig y Ricaurte no miden la variable de temperatura,

las temperaturas referenciales obtenidas del mapa de isotermas mensuales del Ecuador. Se puede observar que en las estaciones Sigsig y Ricaurte se obtuvo temperaturas promedio anuales de 14.6°C y 15.5°C respectivamente.

3.3 Estimación de Heliofanía

Utilizando el MDE se obtuvo el mapa de pendientes y aspectos con resolución de 10 m aplicados para el área de estudio. A continuación con la reclasificación de pendientes y aspectos se obtiene los mapas representados en el Figura 2.

Figura 2: Reclasificación de Pendientes y Aspectos

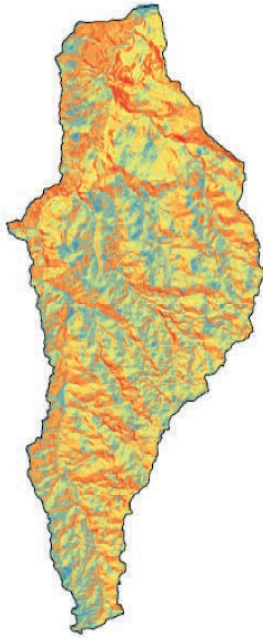


Fuente: Autores

Como resultado de la combinación de las pendientes y aspectos, se logra el

mapa de Índice Morfológico indicado en la Figura 3.

Figura 3: Índice morfológico



Fuente: Autores

Figura 4: Estimación de las horas de sol

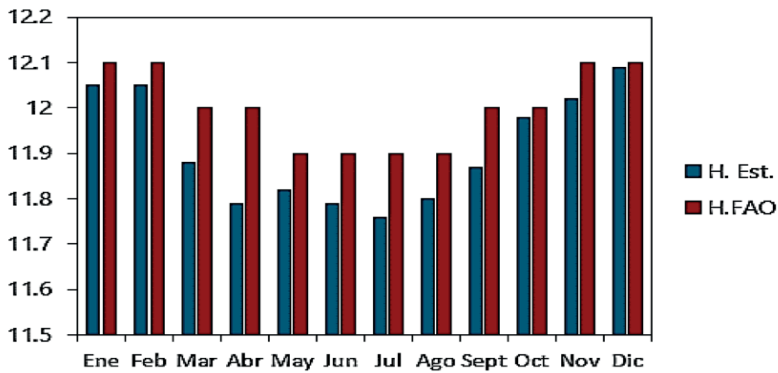


Fuente: Autores

Obtenido el índice morfológico se utilizó el módulo *Solar Analyst* donde se planteó el límite de tiempo para el cálculo de horas solares, en este caso, se evaluó el día 15 de cada mes en el año 2015.

Estos resultados fueron comparados con las horas de sol teóricas de la FAO [18], en la Figura 5 se puede observar la comparación entre horas estimadas y horas teóricas de la FAO.

Figura 5: Comparación de horas estimadas y horas teóricas



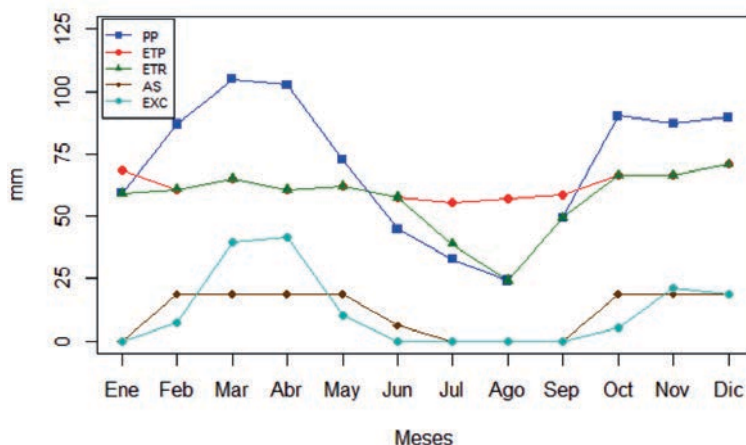
Fuente: Autores

3.4 Cálculo del balance hídrico

Los resultados del balance hídrico de la microcuenca Chaquilcay, abarcan períodos de estiajes ($P < ETP$) en el mes de enero y parte del mes de junio a septiembre en la cual reciben una precipitación mensual de 24.1 a 59.1 mm, siendo el mes más seco agosto; la estación húmeda ($P > ETP$) se encuentra en los meses de febrero a mayo y de octubre a diciembre con un rango precipitación de 72.5 a 102.5 mm. Asimismo, en los

períodos de estiaje se presenta déficit de agua mientras en la mayoría de los meses húmedos la lluvia sobrepasa los 18.7 mm de capacidad de campo llegando a producir exceso de agua, siendo abril el mes de mayor aporte con 41.8 mm de excedente. Este comportamiento hídrico tiene cierta similitud con los resultados obtenidos, en la zona baja de la cuenca del río Machángara [16], donde los meses de disponibilidad de agua son similares con la microcuenca Chaquilcay.

Figura 6: Representación del balance hídrico en la microcuenca Chaquilcay



Fuente: Autores

Para corroborar la información obtenida en el mes de mayo se comparó el excedente teórico de 10.4 mm, con los resultados derivados del monitoreo de caudal promedio de 1.39 m³/s a una altura de 0.33 m, en este análisis se alcanzó una aproximación del valor teórico, porque según Thornthwaite en cuenca hidrográficas pequeñas solo el 75 % del agua excedente se escurre, mientras que el resto de infiltra o evapora. También,

cabe mencionar que los datos obtenidos durante la medición de caudal reflejaron un coeficiente de correlación de 0.98, y se muestra en la siguiente ecuación 3, a partir de los datos de caudal se logra el nivel del agua:

$$Q = 29.51 N + 7.9 \quad (3)$$

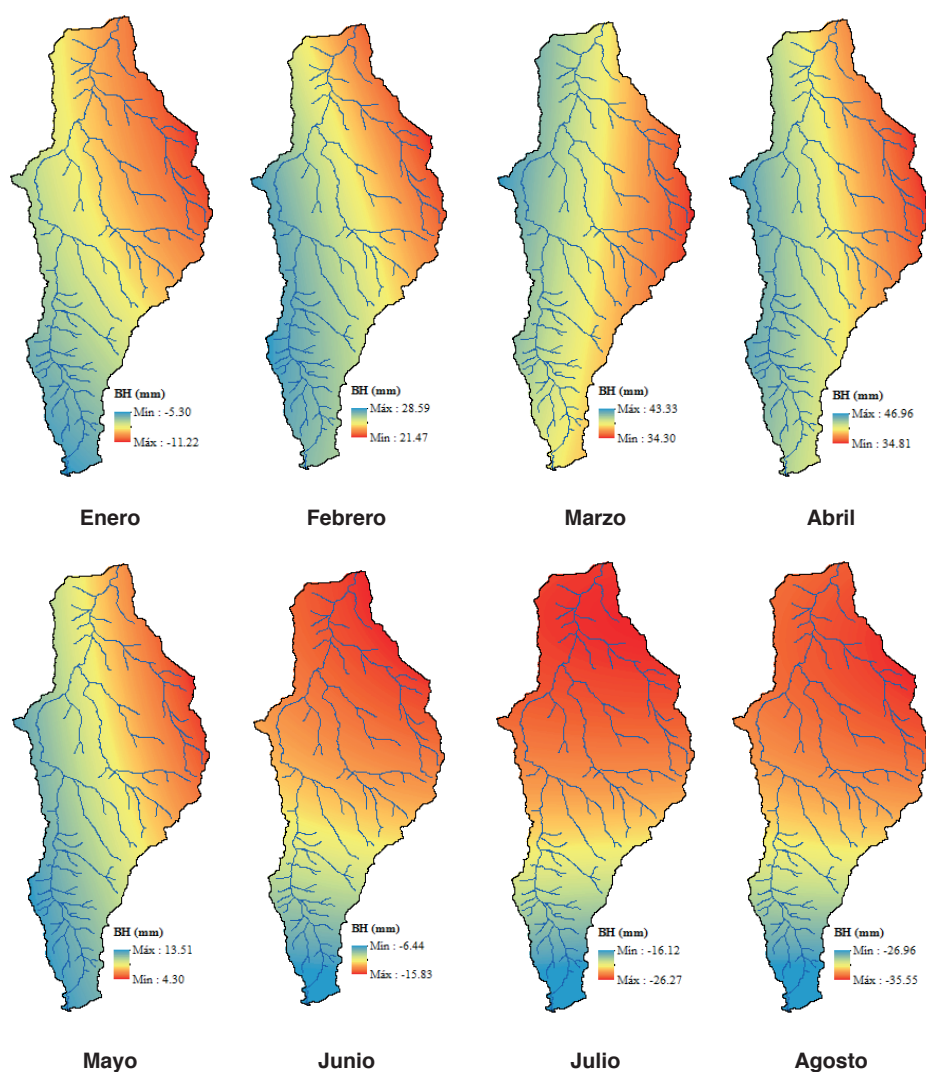
Donde:

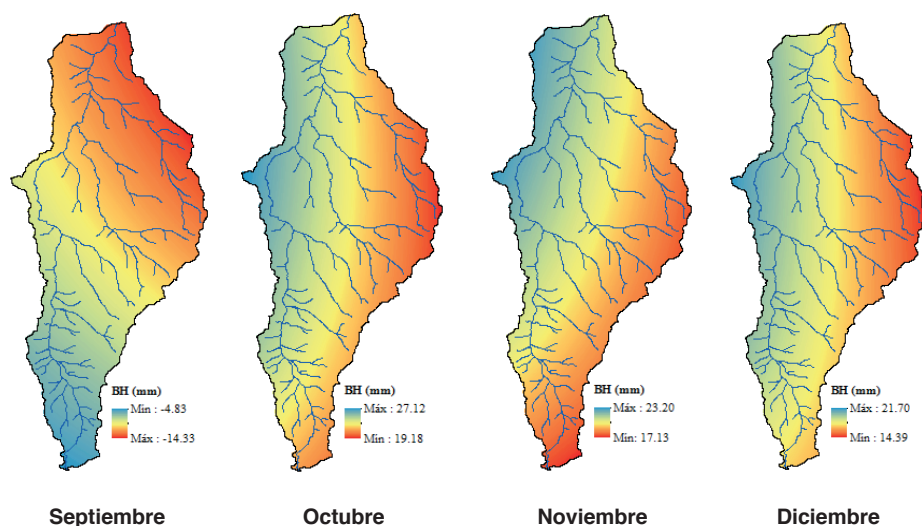
Q = Caudal, m³/s
N = Nivel, m.

Por último, en la Figura 7 se obtuvo la distribución espacial del balance hídrico. Se visualiza en los meses de estiaje, que en la parte norte de la microcuenca hay mayor déficit de agua con relación a las otras áreas de estudio. Analizando esta distribución se prevé que los datos con mayor déficit se

corresponden a las cotas más bajas de la microcuenca (desagüe), lugar donde la temperatura juega un rol importante, porque aumenta en las cotas bajas y va disminuyendo hacia las cotas más altas. Por tanto, a mayor temperatura los procesos de evapotranspiración van a aumentar.

Figura 7: Representación del balance hídrico en la microcuenca Chaquilcay





Fuente: Autores

3. CONCLUSIÓN

En el estudio hidrológico de la microcuenca Chaquilay, se puede notar que en la información obtenida del INAMHI existieron dos grandes limitantes, el primero la escasa información meteorológica y el segundo la calidad de la información obtenida ya que no se disponía de registros para todo el período (1982-2015) provocando así una discontinuidad en los datos. Para emplear esta información fue necesario realizar el relleno de las series mensuales de precipitación y temperatura mediante métodos estadísticos apropiados para la estimación de estos valores.

Se aplicó el método de regresión lineal, muy utilizado en Sudamérica y del cual se obtuvieron resultados con un coeficiente de correlación de > 0.5 tendiendo de media a buena según el evaluador

de Chaddock, pero para no desestimar los pocos datos obtenidos con un coeficiente de < 0.5 se realizó la validación y homogeneización de las series, donde se obtuvo una aprobación por la prueba de rachas y una alta linealidad por curva de doble masa. En total se obtuvieron 86 datos estimados para el período de estudio.

Para finalizar, a través de las preguntas planteadas la realización del balance hídrico permitió estudiar el comportamiento de los procesos hidrológicos y la afectación que se produce en el rendimiento del agua, definiendo así las estaciones secas y húmedas; durante las estaciones de estiaje se produce déficits de agua en los meses enero, junio, julio, agosto y septiembre, mientras que los meses restantes satisfacen las demandas de evapotranspiración siendo abril el

mes de mayor precipitación con 102.5 mm y excedente de 41.8 mm.

La lámina de escurrimiento superficial anual generado en la microcuenca Chaquilcay fue de 144.5 mm, esto quiere decir, hay un volumen de agua cap-

tado de 302 304.1 m³. Se puede decir, que ante la escasez de información este estudio realiza una primera estimación del balance hídrico, lo cual resulta es un trabajo importante para el manejo y planificación del recurso agua.

REFERENCIAS

- [1] P. J. Crespo *et al.*, "Identifying controls of the rainfall-runoff response of small catchments in the tropical Andes (Ecuador)", *Journal of Hydrology*, vol. 407, núm. 1, pp. 164–174, sep. 2011.
- [2] B. Willaarts, P. Aguilera, B. Martín, y M. Volk, "Consecuencias eco-hidrológicas asociadas a los cambios en las coberturas de vegetación en paisajes adherados mediterráneos e implicaciones en el suministro de servicios de los ecosistemas", presentado en VII Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Madrid, 2008.
- [3] A. C. De La Casa y O. B. Nasello, "Análisis periódico de las condiciones hidrológicas en la provincia de Córdoba, Argentina", *Anales (Asociación Física Argentina)*, vol. 26, núm. 4, pp. 170–176, dic. 2015.
- [4] N. Minga *et al.*, "Plan de Manejo del Bosque Protector Aguarongo y su área de influencia", Cuenca, 2002.
- [5] PDYOT Jadán, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Parroquia Jadán", Gualaceo, 2015.
- [6] K. Prado, "Ordenación territorial de áreas protegidas: aplicación al área de influencia del bosque y vegetación protectora - ABVP Aguarongo", Maestría, Universidad de Cuenca, Cuenca, EC, 2015.
- [7] PDYOT Zhidmad, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Parroquia Zhidmad", Gualaceo, 2015.
- [8] D. Carrera, P. Guevara, L. Tamayo, A. Balarezo, C. Narváez, y D. Morocho, "Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media", *Idesia (Arica)*, vol. 34, núm. 3, pp. 79–88, 2016.
- [9] A. Toro, R. Arteaga, M. Vázquez, y L. Ibáñez, "Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región norte del Urabá Antioqueño", *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 6, núm. 3, pp. 577–588, 2015.
- [10] C. Gutiérrez, *Hidrología Básica y Aplicada*. Quito, EC: Ed. Universitaria Abya-Yala, 2014.
- [11] F. Aparicio, *Fundamentos de la hidrología de superficie*. México D.F., ME: Editorial Limusa, 2015.
- [12] E. Galindo, *Estadística. Método y Aplicaciones para Administración e Ingeniería.*, 3a. ed. ProCiencia Editores, 2010.
- [13] M. Bezzi y A. Vitti, "A comparison of some kriging interpolation methods for the production of solar radiation maps", *Department of Civil and Environmental Engineering, University of Trento*, p. 18, 2005.
- [14] A. Brito, "Evaluación del error producido en el cálculo de la evapotranspiración de referencia para diferentes métodos – Aplicación a 17 estaciones meteorológicas de la Sierra Ecuatoriana", Universidad de Cuenca, Cuenca, EC, 2008.
- [15] M. Silva y C. Campos, "Anomalias Decadais Do Regime Hídrico Do Rs No Período De 1977 a 2006", *Ciência e Natura; Santa Maria*, vol. 33, núm. 1, pp. 75–89, 2011.

- [16] E. Carchi, “Elaboración de un balance hídrico en la cuenca del río Machángara”, Tesis, Universidad de Cuenca, Cuenca, EC, 2015.
- [17] OMM, *Guía de Prácticas Climatológica. OMM-N° 10*. Ginebra, SUI: Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2011.
- [18] R. Allen, L. Pereira, D. Raes, y M. Smith, *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, IT: FAO, 2006.

**SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
PARA LA SALUD**

Telemedicine in the pre-professional internship program

La telemedicina en las prácticas pre-profesionales

L. Vásquez¹, E. Hernando²

Abstract: *The pre-professional internship program of undergraduate students in Ecuador has had a recent evaluation. Where the evaluators suggest a greater academic follow-up and improve the practice scenarios. The present work aims to show and discuss the parameters of use of a Telemedicine Platform (PT) in a context of undergraduate academic subjects. A longitudinal study of three consecutive academic periods was conducted. The usage parameters as the distribution of teleconsultation and response per daily journeys have been used for the analysis. The sent teleconsultations were generally on weekends and on night shifts (Friday 52 and Saturdays 76 teleconsultations). Due to the good interaction of the participants the use of TP can be suggested as a direct communication tool to improve the academic follow-up and use in the primary and hospital health services within the pre-professional internship program.*

Keywords: *telemedicine, pre-professional internship, rotating internship, teleconsultations, telemedicine platform.*

Resumen: El programa de prácticas pre-profesionales de los estudiantes médicos en Ecuador ha tenido una evaluación reciente. Donde los evaluadores sugieren un mayor seguimiento académico y mejorar los escenarios de práctica. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar y discutir los parámetros de uso de una Plataforma de Telemedicina (PT) en un contexto de asignatura académica de pregrado. Se realizó un estudio longitudinal de tres periodos académicos consecutivos. Se utilizó para el análisis parámetros como la distribución de envíos de teleconsulta y respuesta por jornadas diarias. Los envíos de teleconsulta eran generalmente los fines de semana y en jornadas nocturnas (viernes 52 y sábados 76 teleconsultas). Debido a la buena interacción de los participantes se puede sugerir el uso de la PT como una herramienta de comunicación directa para mejorar el seguimiento académico y uso en los servicios de salud de atención primaria y hospitalaria dentro de las prácticas pre-profesionales.

Palabras clave: telemedicina, prácticas pre-profesionales, internado rotativo, teleconsultas, plataforma de telemedicina.

1 Leonel Vásquez Cevallos, M.Sc, Docente Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, lvasquezc@ups.edu.ec.

2 Elena Hernando Pérez, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. España, elena@gbt.tfo.upm.es

1. INTRODUCCIÓN

La Telemedicina (TM) utiliza medios tecnológicos (TIC y Telecomunicaciones) para eliminar la barrera de la distancia y proporcionar en la mayoría de los casos una atención clínica remota. Sin embargo, los beneficios del uso de la TM no solo se observan en la aplicación clínica, sino también para etapas formativas [1], [2], [3].

Las etapas formativas de la titulación de médico siempre van seguidas de un grupo de asignaturas teóricas y programas donde se desarrollan habilidades prácticas. En este sentido la etapa de conocimientos prácticos o clínicos es en los últimos años en un programa de formación llamado Internado Rotativo (IR). Este programa desarrolla habilidades prácticas o clínicas en servicios de salud de centros de atención primaria o en hospitales [3], [4], [5].

En la última evaluación a las carreras de medicina se evidenciaron obser-

vaciones por parte del ente evaluador (CEAACES) [6]. Donde los evaluadores resaltan los criterios de prácticas pre-profesionales e investigación como de mayor y menor cumplimiento respectivamente. Aunque todas las carreras tienen algún programa de prácticas pre-profesionales el CEAACES sugiere mayor seguimiento académico y mejorar los escenarios de las prácticas pre-profesionales [6], [7]. En este contexto el uso de una plataforma de telemedicina como comunicación directa entre el tutor y el estudiante puede generar mayor seguimiento académico y/o mayor acceso a la discusión de casos clínicos que muchas veces no la tienen en los lugares de práctica.

El presente artículo tiene como objetivo presentar y discutir factores asociados al uso de una plataforma de telemedicina para su futura introducción al programa de prácticas pre-profesionales.

2. MÉTODOS

A continuación, se menciona la línea base de este trabajo y los resultados de publicaciones previas [8], [9]. En cuanto a los datos relacionados al uso de la PTM y que se muestran en este trabajo, se tienen recogidos mediante registros automáticos de la plataforma de la interacción de médicos docentes y estudiantes, siguiendo los criterios de experiencias previas. [10], [11], [12], [13], [14].

2.1 Antecedentes

La Universidad Técnica Particular de Loja, ha desarrollado proyectos de telemedicina como el denominado proyecto Tutupaly, conjuntamente con el Ministerio de Salud Pública. Los resultados del proyecto fueron el punto de inicio de la presente experimentación ya que se evidenciaron la falta de integración de las herramientas TIC y de Telecomunicaciones que utilizaban [15]. En

el artículo [8], se presentan los criterios de diseño de la plataforma de telemedicina utilizada en la experimentación y que integró las herramientas utilizadas en el proyecto Tutupaly. Además, en el trabajo [9], se discutió la aceptación de la plataforma como un recurso de formación de pregrado obteniendo los valores de envíos de teleconsultas y respuestas por especialidad consultada. El protocolo de envío de teleconsulta era de 4 teleconsultas mensuales por estudiante y el protocolo de envíos de respuesta era contestar las teleconsultas dentro de 24 horas luego de la notificación [8], [9].

A continuación se describen los registros que no han sido publicados y es objeto de análisis para su futura implementación en el programa de prácticas pre-profesionales.

2.3 Registro automático de parámetros de uso

Los parámetros de uso de la PTM registrados para el análisis son la distribución de envíos de teleconsultas y respuestas por periodo y por jornadas diarias. Se calcularon valores promedios de cada parámetro y su desviación estándar para el estudio general.

3. RESULTADOS

3.1 Registro automático de parámetros de uso

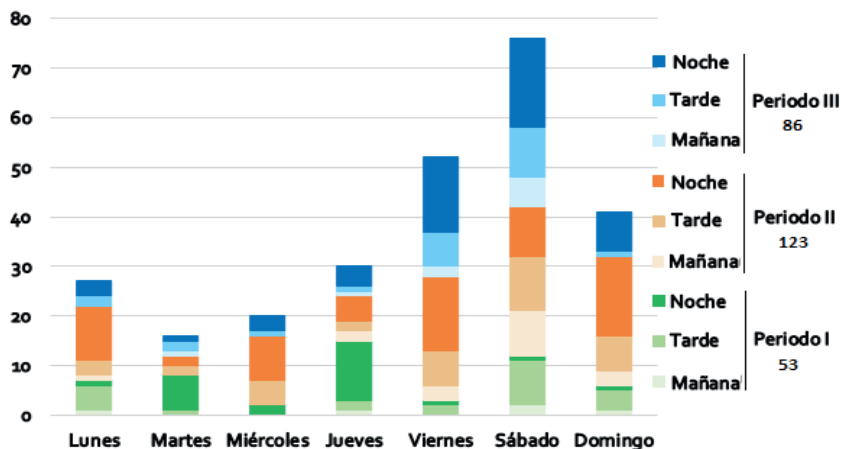
Los periodos de experimentación fueron desde octubre 2013 hasta enero 2015 en la asignatura de Telemedicina de la Universidad Técnica Particular de Loja. Participaron 124 estudiantes y 6 docentes de diferentes especialidades: Medicina Interna, Medicina Familiar, Cirugía, Ginecología y Obstetricia, Medicina General, Radiología y Pediatría.

Los participantes interactuaron con 262 teleconsultas enviadas y 226 respuestas. En la Figura 1 se muestran la distribución del número de teleconsultas enviadas por horario de envío.

Se puede observar que los horarios de las teleconsultas enviadas por los estudiantes, manifiesta una clara evidencia de elaboración de los casos clínicos en jornadas nocturnas y finales de semana (viernes y sábados). Se enviaron un total de 52 y 76 teleconsultas los viernes y sábados respectivamente.

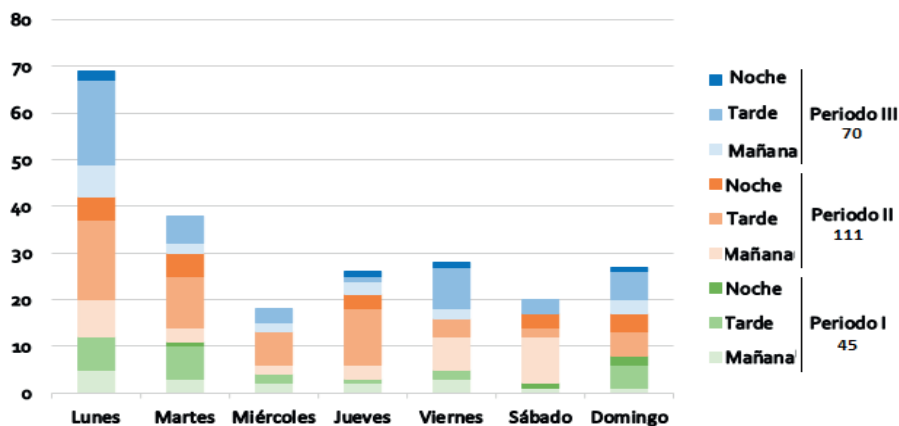
En la figura 2 se muestran los envíos de las respuestas a las teleconsultas. Donde no hubo respuesta en 36 teleconsultas. Se puede apreciar que los médicos docentes tomaban una jornada de mañana y tarde para contestar así como también se muestran los días lunes el mayor número de respuestas (69).

Figura 1. Distribución horaria de los envíos de teleconsulta



Fuente: Autores

Figura 2. Distribución horaria de los envíos de respuesta



Fuente: Autores

4. DISCUSIÓN

Dentro del contexto formativo los resultados coinciden con los de otros autores que indican que la telemedicina influye en el aprendizaje de los estudiantes. Algunos ejemplos se muestran

en experiencias de Telepatología [16], Teledermatología [17], o formación quirúrgica [18]. Así como también se observó la utilidad de la telemedicina en el estudio [19], donde estudiantes par-

participaron en una clase de telemedicina con una examinación pediátrica a distancia. Los autores concluyeron que la enseñanza con el uso de la telemedicina es una alternativa viable a la enseñanza convencional, además podría ser aplicada cuando los clínicos no puedan estar con los estudiantes en persona [19].

La acumulación de los envíos de teleconsultas en los fines de semana afectaba a sus respectivas respuestas, ya que el médico docente contestaba en horario laboral y particularmente en las tardes. Esto influyó en las teleconsultas no contestadas ya que hubo en ocasiones la sobrecarga laboral por parte de los médicos docentes. Este factor es clave para el funcionamiento del protocolo de respuesta ya que para formación es aceptable retrasos en la retroalimentación mientras que en un escenario de emergencias es fundamental cumplir con el protocolo [9], [20].

En Ecuador existen un crecimiento en el interés de desarrollar programas de telemedicina que ayuden a soportar la educación continua, uno de los interesados es el Ministerio de Salud Pública (MSP) además de las universidades del país [21]. El programa de internado rotativo se puede fortalecer con el uso de una plataforma de telemedicina. Los médicos docentes (5/6) mostraron respuestas satisfactorias de viabilidad al programa prácticas referido. Esto evidencia un ma-

yor cumplimiento en el desempeño de los criterios de evaluación, específicamente en el de prácticas pre-profesionales [9].

Una limitación de este análisis es la baja muestra de los participantes, que impide la generalización de los resultados. Sin embargo los parámetros de usos generados muestran una gran cantidad de datos para el análisis del comportamiento de uso de la PTM. Además en las publicaciones previas [8], [9] se puede apreciar un amplio consenso entre los participantes, en particular de los docentes, sobre la aceptación de la plataforma para la adquisición de conocimientos prácticos como lo muestra la baja variabilidad de las respuestas en estos aspectos (<1), por lo que previsiblemente un aumento en el tamaño de muestra variaría en el mismo sentido que los resultados actuales.

Como trabajo futuro se propone realizar estudios con la PT en más universidades del país incluyendo a hospitales. Por un lado, que mejoren el cumplimiento de los criterios de prácticas médicas como el seguimiento y tutorías de aprendizaje y mejorar la calidad del aprendizaje en los escenarios de prácticas médicas en Ecuador. Y por otro lado aplicar un estudio de continuidad en el ámbito rural, para médicos especialistas, docentes y médicos del servicio rural obligatorio, incluyendo a médicos de hospitales de referencia en los servicios de atención rural a nivel nacional [22], [23], [24].

5. CONCLUSIONES

Los parámetros de uso de la plataforma de telemedicina fueron satis-

factorios en gran porcentaje para los docentes y estudiantes que probaron la

herramienta. Identificando así una participación positiva en el desarrollo de las destrezas de formación de un médico como es la redacción de historias clínicas para mejorar su intervención en diagnóstico y terapias médicas.

La gran cantidad de datos generados por la participación de estudiantes y docentes muestran que la Plataforma de

Telemedicina es una herramienta útil de comunicación directa para la documentación y discusión de casos clínicos. Además, puede recomendarse su uso como metodología docente para fortalecer al programa de prácticas médicas de pregrado (IR), mejorando así el desempeño del criterio de evaluación de prácticas pre-profesionales en Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los docentes y estudiantes de la UTPL por su colaboración en la validación del experimento. Esta investigación ha sido par-

cialmente financiada por la Senescyt, en el programa Doctoral de Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica de Madrid.

REFERENCIAS

- [1] World Health Organization. Telemedicine: Opportunities and developments in member states. Available: (Último acceso agosto 2017), www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010.pdf
- [2] Davis TM, et al., American Telemedicine Association Guidelines for TeleICU Operations. Telemedicine and e-Health (2016), 22(12), 971-980.
- [3] Mangrulkar R. et al. Telemedicine/telehealth: an international perspective. Telemedicine and medical/health education. Telemed J E Health 2002; 8: 49-60.
- [4] Borrell RM, & Godue C. La formación en medicina orientada hacia la Atención Primaria de Salud. Serie La renovación de la atención Primaria de Salud en las Américas. Organización Panamericana de la Salud (OPS) 2008.
- [5] Peinado Herreros JM. Libro Blanco: Título de Médico. Granada: Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación 2006, 534.
- [6] CEAACES, 2014. Informe definitivo de evaluación del entorno de aprendizaje de la carrera de medicina-Ecuador. Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior-CEAACES. [Acceso en línea] [Último acceso 06 Junio 2017] <http://www.ceaaces.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2014/08/Informe-definitivo-de-evaluación-del-entorno-de-aprendizaje-de-la-carrera-de-medicina.pdf>.
- [7] MSP & Ministerio del Trabajo, 2016. Acuerdo: Expedir la norma técnica para la implementación del Internado Rotativo en los establecimientos de la salud de la Red Pública Integral de Salud. [Acceso en línea] accesible en: http://www.kva.com.ec/imagesFTP/21451.SRO_690_lunes_15_febrero_2016.pdf [último acceso 02 junio. 2017].
- [8] Leonel A. Vazquez-Cevallos, J. Bobokova, P.V. González-Granda, J.M. Iniesta, Enrique J. Gómez, and M.E. Hernando, 2017. "Design and Technical Validation of a Telemedicine Service for Rural Healthcare in Ecuador", Telemedicine and e-Health Journal. (Aceptado 14 agosto 2017)

- [9] Leonel A. Vasquez-Cevallos, J. Bobokova, Estefanía Bautista-Valarezo, Viviana Dávalos-Batallas and M.E. Hernando, 2017. "Telemedicine in Medical Training in Ecuador", IEEE ETCM Conference, Salinas-Ecuador (Aceptado 15 agosto 2017).
- [10] Holle R, Zahlmann G. Evaluation of telemedical services. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 1999; 3:84–91.
- [11] Zanaboni P, Scalvini S, Bernocchi P, Borghi G, Tridico C, Masella C: Teleconsultation service to improve healthcare in rural areas: acceptance, organizational impact and appropriateness. *BMC Health Serv Res* 2009; 9: 238-10.
- [12] Saigí F: Aprendizaje colaborativo en red: el caso Del Laboratorio de Telemedicina. *Gac Sanit* 2011; 25: 254-256
- [13] Hu PJ, Chau PYK, Sheng ORL. Examining the technology acceptance model using physician acceptance of telemedicine technology, *J Manag Inf Sys* 1999; 16:91-112.
- [14] Martínez, A. y colaboradores, Bases metodológicas para evaluar la viabilidad y el impacto de proyectos de Telemedicina, Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, Washington DC, EEUU, 2001.
- [15] Rios-Ramírez AX. Análisis costo-beneficio del proyecto TELESALUD UTPL-TUTUPALY [Medicine degree Dissertation] Yacuambi-Ecuador 2010; 93 Available at: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/1635> (Último acceso agosto, 2017).
- [16] Gongora JH, Barcelo HA. Telepathology and continuous education: important tools for pathologists of developing countries. *Diagn. Pathol.* 2008; 3: S24.
- [17] Boyers LN, et al., 2015. Teledermatology as an educational tool for teaching dermatology to residents and medical students. *Telemed J E Health*; 21: 312-314.
- [18] Mora F, Cone S, Rodas E, Merrell RC, 2006. Telemedicine and electronic health information for clinical continuity in a mobile surgery program. *World J Surg*; 30: 1128–1134.
- [19] Strehle EM., et al.. Teaching medical students pediatric cardiovascular examination by telemedicine. *Telemedicine and e-Health* 2009, 15(4), 342-346.
- [20] Berghout RM, Eminovic N, de Keizer NF, Birnie E. Evaluation of general practitioner's time investment during a store-and-forward teledermatology consultation. *Int J Med Inform.* 2007; 76: S384-91
- [21] Ministerio de salud Pública, MSP, Ecuador. Programa Nacional de Telemedicina y Telesalud: Logros, planes y retos pendientes. Última vez accesado 15 de septiembre 2017. http://unian-desinvestigacion.edu.ec/telemedicina/wp-content/uploads/2015/01/Programa_Nacional_de_Telemedicina_y_Telesalud-Logros_planes_retos_pendientes_Ecuador.pdf
- [22] Zanaboni, Paolo, et al. "Teleconsultation service to improve healthcare in rural areas: acceptance, organizational impact and appropriateness." *BMC Health Services Research* 9.1 (2009): 238.
- [23] Ruas, Sandra Silva Mitraud, and Ada Ávila Assunção. "Teleconsultations by primary care physicians of Belo Horizonte: challenges in the diffusion of innovation." *Telemedicine and e-Health* 19.5 (2013): 409-414.
- [24] Martínez A, Villarroel V, Seoane J, & Del Pozo F. A study of a rural telemedicine system in the Amazon region of Peru. *J Telemed Telecare* 2004; 10:219-225.

Proposal of a measurement system for the mood state of people through the cardiac signals and electrodermal resistance

Propuesta de un sistema para medir el estado de ánimo de las personas a través de las señales cardíacas y resistencia electrodérmica

K. Avilés González¹, J. Ramos Avecillas², L. Serpa Andrade³

Abstract: *The physical state and mood state of a person modifies the behavior of the daily tasks. In fact, there are diseases directly related to the stress level. This study collects the data based on experiments using as a system of measurement the heart frequency signal and the people galvanic resistance. The data is obtained through a processed of visual and auditory alterations, controlled by an experiment protocol developed during this study. For this reason, we propose the development of an electro-dermal sensor and a cardiac sensor, which will help us to determine the mood of people (fear, joy, sadness).*

Keywords: *cardiac signals, electrodermic resistance, mood state*

Resumen: El estado físico y anímico de una persona modifica el comportamiento de las tareas diarias. De hecho existen enfermedades directamente relacionadas a los niveles de estrés. Este estudio recolecta datos basándose en un experimento que toma como medida las señales de frecuencia cardíaca y la resistencia galvánica de las personas. La información se obtiene a través de un proceso de alteración visual y auditiva controlada mediante un protocolo experimental desarrollado a lo largo de este estudio. Por tal razón que se propone la elaboración de un sensor electro dérmico y de un sensor cardíaco, los cuales nos ayudarán a determinar el estado anímico que presentan las personas. (miedo, alegría, tristeza)

Palabras clave: señal cardíaca, resistencia electrodérmica, estado anímico.

-
- 1 Kevin Marcelo Avilés González, estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca de la carrera de Ingeniería Electrónica mención en Sistemas Industriales, kavilesg@est.ups.edu.ec.
 - 2 Juan Paul Ramos Avecillas, estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca de la carrera de Ingeniería Electrónica mención en Sistemas Industriales, jramos1@est.ups.edu.ec.
 - 3 Luis Javier Serpa Andrade, Master en Control y Automatización Industriales, Ingeniero Electrónico, Docente Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, lserpa@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Aproximadamente en el siglo XIX, Paul Ekman propone que las emociones son modulares y se las puede clasificar como: ira, miedo y disgusto, de las cuales se obtendrán sus derivadas [1]. En base a investigaciones se ha logrado identificar que las emociones se ven involucradas en distintas actividades diarias, las cuales están varían

constantemente de acuerdo al momento que se esté viviendo, por ejemplo: episodios de pérdidas, frustraciones, melancolía, entre otros [2].

En la Tabla 1 se presentará las seis expresiones emocionales de la psicología que se están empleando en la actualidad según Kalat y Shiota [3].

Tabla 1. Expresiones emocionales de la Psicología evolucionaria actual

Número	Expresión emocional
1	Alegría
2	Tristeza
3	Miedo
4	Disgusto – Repugnancia – Asco
5	Felicidad
6	Ira – Enojo – Cólera

Fuente: [3]

La depresión es una enfermedad que está presente en la población en la actualidad, la cual se caracteriza por una profunda tristeza, pérdida del placer y sentimiento de culpa, que se puede observar en la Tabla 1. Según datos obtenidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), es posible indicar que existe alrededor de 300 millones de personas con este tipo de enfermedad. Está demostrado que el pronto tratamiento puede salvar vidas y así reducir las alarmantes estadísticas mundiales [4]. Algo similar ocurre con otras patologías como la demencia, trastorno bipolar y algunos trastornos mentales agresivos como la esquizofrenia [5].

Con estos antecedentes, este estudio propone un método para identificar el estado anímico de los participantes con el objetivo de repercutir en un diagnóstico presuntivo y desarrollo médico-paciente [6]. Para cumplir este objetivo se propone evaluar el estado anímico a través de la resistencia galvánica de la piel y el ritmo cardíaco de cada participante. El proyecto se puede aplicar en dos áreas de la salud: en el área hospitalaria o en la psicológica. Al hablar del área médica el proyecto beneficia durante la toma de signos vitales en los pacientes, comprobando la correcta medición de la toma de signos vitales, esto debido a que los signos se ven alterados por los estados

ánimicos y se puede mal interpretar los resultados. Por otro lado, desde la perspectiva psicológica es posible darse cuenta que tan efectivo puede ser un proceso empleado con pacientes que tengan algún tipo de trastorno, debido a que el estado anímico puede enmascarar los resultados de los test y pruebas realizadas.

A través de un estudio realizado se observaron investigaciones relacionadas a nuestro tema de interés, como por ejemplo, en el año 2010 Choi et al., plantean un dispositivo capaz de reconocer las reacciones físicas voluntarias e involuntarias del estrés, los mismos que emplean un conjunto de sensores adaptados a un cinturón, que se ubicará en el pecho del participante, controlando la respiración, frecuencia cardíaca y transmitiendo los valores en tiempo real por medio de un canal inalámbrico. Todo esto con el objetivo de lograr mantener una monitorización a largo plazo del nivel de estrés mental empleando un sistema portátil y no muy invasivo [7].

Siguiendo esta línea de investigación Ming-Zher et al., proponen algunos dispositivos capaces de monitorear la actividad electrodérmica de los pacientes, usando un sensor portátil. Actualmente el dispositivo se mantiene

en fase de prototipo con su plan piloto para lograr medir la actividad electrodérmica (EDA). Dicho prototipo presenta como resultados algunos valores de la resistencia galvánica de la piel, el análisis se realizó en un ambiente controlado donde se mantiene un monitoreo constante del paciente mediante electrodos antes, durante y después de un proceso convulsivo [8]. Teniendo en cuenta que la mayoría de sensores EDA son portátiles y de fácil aplicación y su única limitante está relacionada con la respuesta de la resistencia galvánica, se dará un nuevo enfoque a este tipo de aplicaciones, en ambientes donde se pretende controlar el estado anímico de las personas [9] [10].

Mediante estudios psicológicos se ha logrado plantear una hipótesis que el estado anímico varía cuando una persona está atravesando una enfermedad, también se ha observado que en el caso de que el paciente presente un resfriado el cuerpo libera los anticuerpos en respuesta al virus, los mismos que se ha logrado evidenciar que un estado de ánimo positivo pueda aumentar la respuesta de los anticuerpos como también un estado negativo puede ocurrir lo contrario [11].

2. METODOLOGÍA

La adquisición de los datos de la resistencia galvánica se reportará usando un sensor galvánico, el cual se podrá

colocar en las falanges medias de los dedos, tal como lo muestra la Figura 1.

Figura 1. Sensor Galvánico/Electro dérmico

La base de datos desarrollada consta de las siguientes variables género, edad y resultados que nos brinde la ficha EVEA (Escala de Valoración del Estado Anímico). Posterior a esta clasificación se obtendrá mediante un método experimental los resultados correspondientes a los participantes en función a la reacción ante estímulos visuales, auditivos y sensoriales. La metodología que se empleará desarrollará la esta base de datos se verá con más detalle en la sección 3.

La muestra considerará hombres mayores a 23 años y mujeres mayor a 21 años, puesto que en estas edades se detiene el crecimiento óseo y por ende la piel deja de estirarse [12].

Vargas y Zimbardo mencionan un método a través del cual se pueden obtener respuestas anímicas al aplicar ciertos estímulos [13], [14]. Un breve resumen de esta aplicación se detalla a continuación:

A. ESTÍMULOS AUDITIVOS

Al participante se le colocará audífonos con un aislamiento total del pa-

bellón auditivo y también se le cubrirán los ojos con un antifaz, el objetivo es aislar este sentido y sensibilizar a los restantes. Este experimento se realizará variando el nivel de frecuencia en ambientes musicales para alterar el estado anímico del evaluado.

B. ESTÍMULAS VISUALES

Los cambios anímicos se realizará usando imágenes tristes, alegres y relajantes en función a la psicología de colores.

C. ESTÍMULOS SENSORIALES

La reacción de las personas ante diferentes tipos de superficies como pueden ser texturas blandas, mucosas, afelpadas, entre otras. Debido a la alta incertidumbre que se genera en este estímulo, la experimentación se basará de manera similar a lo propuesto por Cena y Norberto [15] [16], con la finalidad de obtener resultados de los participantes en tres niveles específicos de control: alegría, tristeza y miedo. Estas emociones fueron seleccionadas para

el desarrollo piloto de este estudio, por conveniencia de experimentación y por disponibilidad de información.

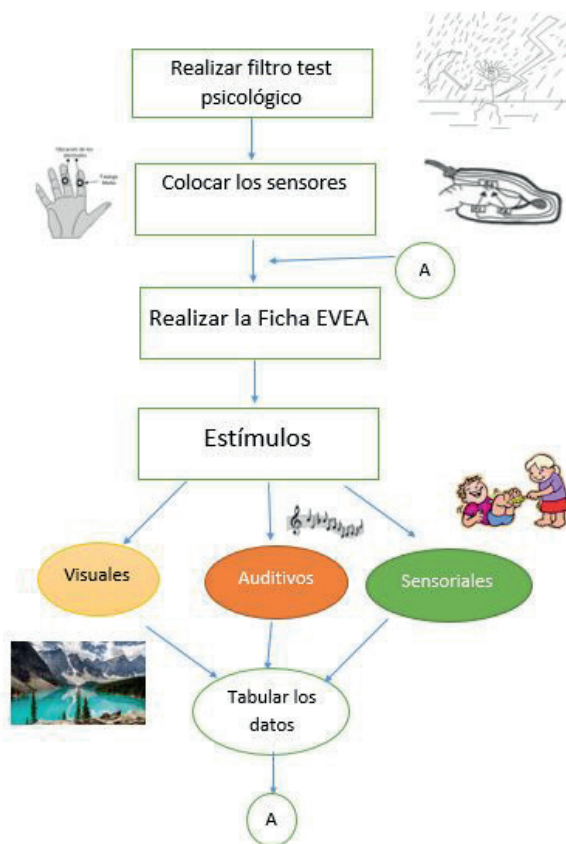
Se usará la escala EVEA, para validar los datos. Este procedimiento se utilizará previo a una reunión de inducción y capacitación tal como se sugiere en [17].

La Figura 2 explica el proceso continuo de la metodología aplicada en esta propuesta, la misma que consta de cuatro etapas. Un filtro psicológico que se basa en el test del hombre bajo la lluvia,

el mismo que ayudará a determinar si la persona tiene algún tipo de trastorno [18]. Después se colocará los sensores galvánicos en las falanges medias de los dedos. Luego se llenará por primera vez la ficha EVEA.

Posterior a todo el proceso, se aplicarán los estímulos visuales, auditivos y sensoriales para poder causar una alteración del estado anímico. Finalmente se tabularán los resultados y se repite el proceso tal como se muestra en la Figura 2.

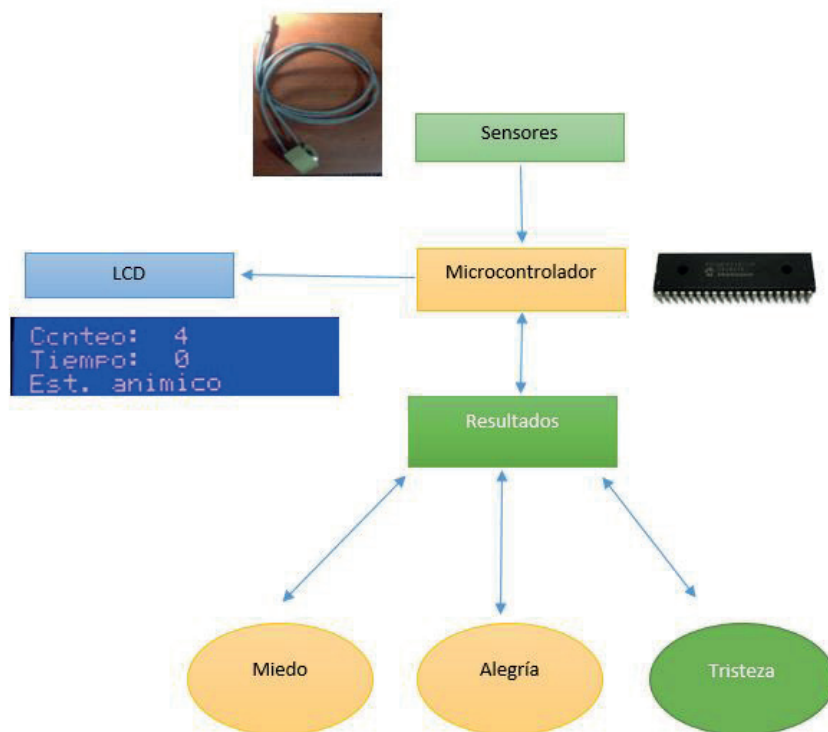
Figura 2. Flujograma del proceso de adquisición de datos



La Figura 3 explica el flujograma del procesamiento de la señal a través de los sensores galvánicos, los cuales,

por medio de un microcontrolador, tabulan los datos visualizándolos en un LCD (*Liquid Cristal Display*).

Figura 3. Flujograma de procesamiento de la señal

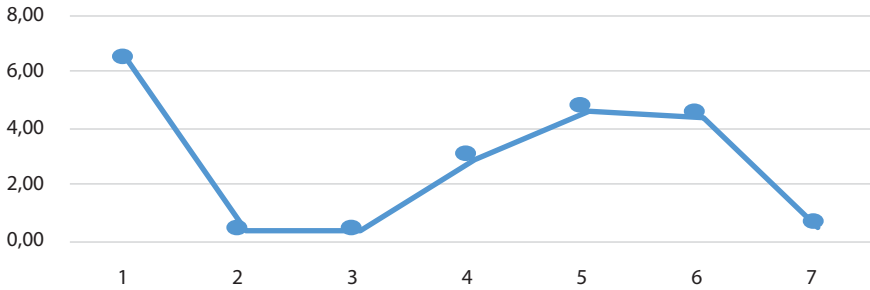


Fuente: Autores

3. RESULTADOS

El proceso de prueba se realizó a 32 participantes aplicándoles los estímulos que se explicaron en el literal 3. Los ensayos piloto fueron realizados en la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, sede Cuenca. Las edades de los participantes oscilaron entre 21 y 30 años sin considerar el género.

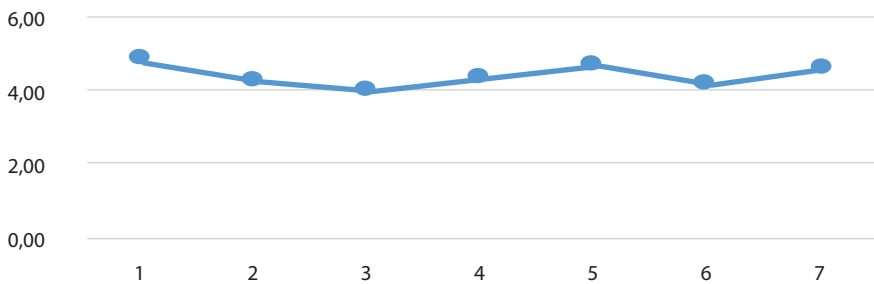
A todos los participantes se les explicó la metodología a utilizar. Una vez aplicado el procedimiento en cada caso a través del sensor electrodérmico, se generaron los valores de Eutomía que se presentan en la Figura 4. Como puede observarse, el valor máximo registrado fue de 6.45 Ω , el valor mínimo de 0.35 Ω y la media aritmética fue de 2.81 Ω .

Figura 4. Valores del EDA ante ningún estímulo (Eutomía)

Fuente: Autores

La Figura 5 indica los resultados del estímulo visual-auditivo en un medio controlado de tristeza con los siguientes

resultados de la resistencia galvánica: valor máximo de 4.76 Ω , valor mínimo de 3.94 Ω y media de 4.19 Ω .

Figura 5. Valores del EDA ante un estímulo para causar tristeza

Fuente: Autores

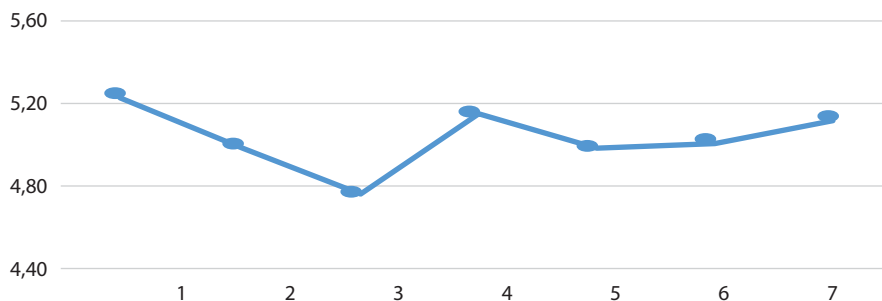
Algo similar se aplicó para evaluar estados como miedo y alegría las figuras 6 y 7 muestran los resultados obtenidos.

Al aplicar el estímulo de miedo se obtuvo un valor máximo de 5.23 Ω , un valor mínimo de 4.76 Ω y media de 5.03 Ω .

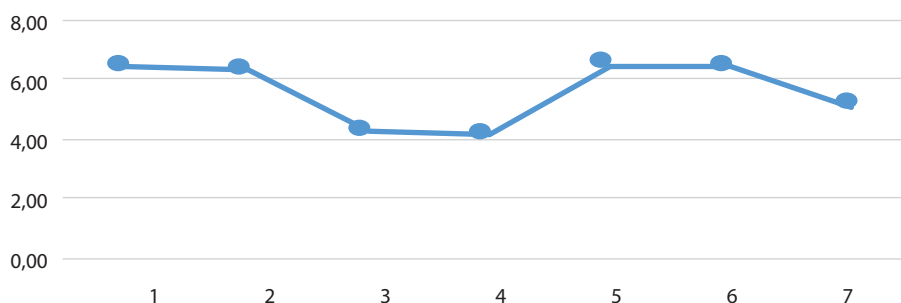
Finalmente al aplicar un estímulo de alegría se consiguió una valor máximo

de 5.60 Ω , el valor mínimo fue de 4.15 Ω y la media de 6.50 Ω .

Con todos estos valores se obtienen los datos tabulares para iniciar un diseño experimental formal con la suficiente información estadística correspondiente.

Figura 6. Valores del EDA ante un estímulo para causar miedo

Fuente: Autores

Figura 7. Valores del EDA ante un estímulo para causar alegría

Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

Este estudio es el paso inicial para desarrollar una investigación a mayor escala de muestreo y validación numérica.

Una limitación de este proyecto fue que durante el experimento no se bloqueó estadísticamente al factor género y es posible que el valor de la resistencia galvánica se vea alterada por esto.

Los valores que obtuvimos en este estudio son piloto y aún no tiene la significación necesaria debido al tamaño de la muestra.

El ruido generado a través del sensor del ritmo cardíaco requiere más estudio como por ejemplo el uso de una compuerta lógica (trigger) conjuntamente con nuestro sensor.

Las emociones de una persona son muy importantes y se debe tomar atención a las mismas, ya que alteran la atención o generan alguna conducta en particular. Con nuestro proyecto piloto intentamos determinar el estado anímico de una persona ya sea miedo, ira o angustia.

Los trabajos futuros que se proponen es la de controlar factores externos que puedan modificar la resistencia galvánica de la piel por ejemplo: sudoración de la piel, temperatura corporal, temperatura ambiente.

REFERENCIAS

- [1] P. Ekman, "Basic Emotions," *Handbook of cognition and emotion*. pp. 45–60, 1999.
- [2] P. Ekman, "What Scientists Who Study Emotion Agree About," *Perspect. Psychol. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 31–34, 2016.
- [3] D. Keltner, P. Ekman, G. C. Gonzaga, and J. Beer, "Facial expression of emotion," *Handbook of affective sciences*. pp. 415–432, 2003.
- [4] Organización Mundial de la Salud: Programa de la OMS 2017, "OMS," 2017.
- [5] N. Bermudez, L. Maldonado, and M. Yapur, "BASADO EN EL FENÓMENO ELECTRODÉRMICO," 2003.
- [6] S. M. Garcia, L. Garzon, and L. H. Camargo, "Review of Electronic Devices for the Determination of Stress Based on Physiological Variables," *Rev. Visión Electron.*, vol. 5, no. 1, pp. 114–122, 2011.
- [7] J. Choi, B. Ahmed, and R. Gutierrez-Osuna, "Development and evaluation of an ambulatory stress monitor based on wearable sensors," *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 16, no. 2, pp. 279–286, 2012.
- [8] M. Poh, T. Loddenkemper, N. C. Swenson, S. Goyal, J. R. Madsen, and R. W. Picard, "Continuous Monitoring of Electrodermal Activity During Epileptic," *32nd Annu. Int. Conf. IEEE EMBS*, 2010.
- [9] E. N. Electricidad, "equipo de biorretroalimentación basado en el fenómeno electrodérmico," 2003.
- [10] E. B. Almagiá, "Influencia del Estado Emocional en la Salud Física Influence of Emotional State on Physical Health," vol. 21, no. 1, pp. 55–60, 2003.
- [11] C. Vázquez, G. Hervás, J. J. Rahona, and D. Gómez, "Bienestar psicológico y salud: aportaciones desde la psicología positiva," *Anu. Psicol. Clínica y la Salud*, vol. 5, no. 1, pp. 15–28, 2009.
- [12] S. Langman, *Embriología Medica con Orientación Clínica*, vol. 1. 2015.
- [13] Vargas, "Sobre el concepto de percepción," *Alteridades*, vol. 4, no. 8, pp. 47–53, 1994.
- [14] D. Tobergte and S. Curtis, "Sensación y Percepción," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [15] L. M. Cena, "Sensopercepción," pp. 1–11, 1991.
- [16] J. González, "La diversidad de las emociones," pp. 179–186, 1996.
- [17] J. Sanz *et al.*, "Escala de Valoración del Estado de Ánimo (EVEA)," *Atención Primaria*, vol. 36, no. 4, pp. 185–188, 2007.
- [18] S. M. Querol and M. I. Chaves, *Test de la persona bajo la lluvia*. 2005.

Prevalence of musculoskeletal discomfort in university students from Guayaquil

Prevalencia de molestias músculo-esqueléticas en estudiantes universitarios de Guayaquil

P. Pérez-Gosende¹, K. Torres², A. Furlan³

Abstract: *This study aimed to identify the prevalence of self-perceived musculoskeletal discomfort in the university students of Guayaquil during last year (May 2016 to May 2017), and to identify possible risk factors. The Kuorinka Nordic Questionnaire was applied to a sample of 628 students who used nine classroom furniture models used in five universities in the city. They presented a high prevalence of musculoskeletal disorders symptoms in the neck, back, hips and thighs. It was demonstrated that there is a relationship of dependence between these symptoms and the model of school furniture used by these students in their academic activities.*

Keywords: *musculoskeletal disorders, risk factors, school furniture, university students.*

Resumen: Este estudio buscó identificar la prevalencia de molestias músculoesqueléticas auto-percibidas por los estudiantes universitarios de la ciudad de Guayaquil en el último año (mayo 2016 a mayo 2017), e identificar a su vez, posibles factores de riesgo. Se aplicó el Cuestionario Nórdico de Kuorinka a una muestra de 628 estudiantes que utilizaron nueve modelos de mobiliario utilizado en cinco universidades de la ciudad. Estos presentaron alta prevalencia de síntomas de trastornos músculoesqueléticos en el cuello, espalda, caderas y muslos. Se demostró a su vez, que existe relación de dependencia entre estos síntomas y el modelo de mobiliario escolar utilizado por estos estudiantes en sus actividades académicas.

Palabras clave: estudiantes universitarios, factores de riesgo, mobiliario escolar, trastornos músculoesqueléticos.

-
- 1 Pablo Alberto Pérez Gosende, Magíster en Administración de Empresas Gestión de la Producción y los Servicios, Ingeniero Industrial, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Miembro del Grupo de Investigación Interdisciplinar en Matemática Aplicada GIIMA, pperezg@ups.edu.ec
 - 2 Kevin Rolando Torres Capuz, Ingeniero Industrial, Miembro del Grupo de Investigación Interdisciplinar en Matemática Aplicada GIIMA de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, ktorresc@est.ups.edu.ec
 - 3 Anggie Margarita Furlan Del Pezo, Ingeniera Industrial, Miembro del Grupo de Investigación Interdisciplinar en Matemática Aplicada GIIMA de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, afurlan@est.ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista ergonómico se conocen tres principios de diseño para la aplicación de la información antropométrica: (1) el diseño para un intervalo ajustable, (2) para el individuo promedio y (3) para individuos extremos [1]. De forma general, el principio de diseño para individuos extremos ha sido el más utilizado en el diseño de mobiliario escolar [2]. Se basa principalmente en la idea de que si la dimensión más relevante del diseño es adecuada para los casos extremos (quinto o noventaicincoavo percentil de la medida antropométrica correspondiente), entonces garantizará comodidad al 95% de la población.

Bajo este último principio de diseño, varios estudios internacionales han identificado discrepancias entre las dimensiones del mobiliario escolar y las medidas antropométricas de su público objetivo: estudiantes de enseñanza básica [2]–[5], de enseñanza media superior (entre 15 y 18 años) [6], [7]; y estudiantes universitarios (entre 18 y 30 años) [8].

El uso de mobiliario escolar inadecuado es una de las causas que facilita que los estudiantes adopten posturas deficientes mientras realizan sus actividades académicas [9], [10]. Tales posturas, sostenidas de forma sistemática durante largos períodos de tiempo, son consideradas un factor de riesgo en el desarrollo de trastornos musculoesqueléticos [6], [7], [11].

Los trastornos musculoesqueléticos comprenden una amplia variedad de

enfermedades degenerativas e inflamatorias en el aparato locomotor [12]. Se caracterizan por síntomas concomitantes y no concomitantes que incluyen dolor asociado a inflamación, parestesia, pérdida de fuerza, fatiga y dificultad o imposibilidad para realizar algunos movimientos [13], [14]. Este grupo de enfermedades se da con gran frecuencia en trabajos que requieren una actividad física importante, movilización de pesos, movimientos repetitivos, aplicación de fuerzas y como consecuencia de malas posturas sostenidas durante largos periodos de tiempo [15].

Con el propósito de detectar en el público objetivo la prevalencia de molestias o síntomas de trastornos musculoesqueléticos (SME), el Cuestionario Nórdico (NMQ, siglas en inglés de Nordic Musculoskeletal Questionnaire) diseñado y validado por Kuorinka [16], ha sido un instrumento de uso extendido en el contexto de estudios ergonómicos o de salud ocupacional [12], [13], [15], [17]–[19]. El mismo permite la identificación de síntomas iniciales, que todavía no han desencadenado enfermedades o no han llevado aún a los pacientes afectados a consultar al médico. En consecuencia, su valor radica en que brinda información que permite estimar el nivel de riesgos de manera proactiva y evitar la exposición a estos mediante medidas correctivas.

La no disponibilidad de bases de datos antropométricas en el Ecuador para personas adultas, podría implicar que el

diseño del mobiliario escolar disponible en el mercado para estudiantes universitarios no necesariamente esté acorde a sus características antropométricas. De acuerdo a lo anteriormente abordado, la exposición por largos períodos de tiempo a un mobiliario con tales características pudiera aumentar la prevalencia de SME, que si no se detectan a tiempo pudieran generar trastornos musculoes-

queléticos graves y con consecuencias irreversibles.

En este contexto, este estudio tiene como objetivo la identificación de la prevalencia de síntomas de trastornos musculoesqueléticos autopercebidos en los estudiantes universitarios en el último año e identificar, a la vez, posibles factores de riesgo.

2. MÉTODOS

2.1 Recolección de datos

La estrategia de muestreo empleada se concentró en medir la prevalencia de eventuales síntomas músculo-esqueléticos en los estudiantes universitarios. El tamaño de muestra fue calculado considerando una población infinita con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 4%. El valor resultante fue de 601 teniendo en cuenta una proporción de éxitos y fracasos del 50% ($p=q=0,5$). De las trece IES que operan en la ciudad de Guayaquil, cinco fueron seleccionados mediante sorteo. Luego mediante un muestreo aleatorio simple en cada IES fueron seleccionadas cinco aulas de forma aleatoria.

A continuación, para identificar la prevalencia de SME en los estudiantes como consecuencia de eventuales incompatibilidades del mobiliario respecto a sus características antropométricas fue utilizado el NMQ. Su aplicación se realizó de forma auto-administrada a aquellos estudiantes que estuvieron dispuestos a colaborar de forma anónima

y que no estuvieron vinculados laboralmente en los últimos doce meses.

El cuestionario constó de dos preguntas generales. La primera pregunta evaluó la presencia de SME en el último año (dolor, malestar o entumecimiento) en nueve partes del cuerpo (cuello, hombros, codos, manos/muñecas, espalda alta, espalda baja, caderas/muslos/glúteos, rodillas, tobillos/pies). La segunda pregunta identificó si la presencia de SME en el último año le habría impedido al usuario hacer alguna de sus actividades habituales (domésticas o de entretenimiento). Mediante el cuestionario también se registró la edad, estatura, peso, sexo, autoidentificación étnica, lateralidad, tiempo de estudio y cantidad de horas en promedio que los estudiantes pasaron sentados por semana.

También fue medido el peso y la estatura de los estudiantes, mediante una báscula Tanita UM-076 y un estadiómetro SECA 217, respectivamente, para luego determinar el índice de masa

corporal (IMC). La recolección de datos fue realizada entre los meses de octubre de 2016 a abril de 2017.

2.2 Análisis estadístico

La información recopilada fue procesada mediante el paquete estadístico IBM® SPSS® Statistics (versión 22.0). La normalidad de la distribución de los datos correspondientes a la edad, estatura, peso, tiempo de estudio, horas sentado por semana, e índice de masa corporal de los estudiantes fue medida mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov con corrección de significación de Lilliefors a un nivel de significancia de $p<0,05$. Los resultados de las características de los participantes se presentaron como proporciones o porcentajes en el caso de las variables categóricas (género, autoidentificación étnica, laterali-

dad, presencia de SME en los últimos doce meses e impedimento para realizar actividades habituales en los últimos doce meses a consecuencia del SME), y la media y desviación estándar (SD) para las variables continuas normales. La diferencia entre la prevalencia de SME para los k modelos de mobiliario identificados fueron evaluadas mediante el test Chi-cuadrado a un nivel de significancia de $p < 0,05$.

La asociación entre la prevalencia de SME y algunas variables de las que se sospecha constituyen factores de riesgo (género, lateralidad, edad, IMC, cantidad de horas por semana sentado, años de estudios superiores y tipo de mobiliario) fue medida mediante el Odd Ratio (OR) con un nivel de confianza del 95%.

3. RESULTADOS

Se aplicó el NMQ a una muestra total de 672 estudiantes. Sin embargo, solo 628 cuestionarios resultaron válidos, garantizándose un margen de error

real del 3,9%. Los tamaños de muestra de acuerdo a las IES estudiadas y los modelos de mobiliario identificados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tamaño de la muestra

IES	A		B		C		D	E	
Mobiliario	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Muestra	137	89	31	37	68	105	64	43	54
Total	137	120		105		105	161		

Fuente: Los autores

La mayoría de los encuestados se identificaron como mestizos (88,28%).

El 45,75% del total correspondió al ~~sexo~~ femenino y el 54,25% al sexo opuesto. El

89,25% manifestó ser diestro y el 10,75% zurdo. La edad media fue de 21,45 años (SD= 0,129 años). La estatura media fue de 165, 57 cm (SD=0,455 cm), el peso medio de 66,23 Kg (SD=0,497 Kg) y la media del IMC de 24,91 Kg/cm² (SD=0,535 Kg/cm²). En promedio, estos estudiantes pasaron sentados en su mobiliario escolar 21,22 horas a la semana durante el último año de clases (SD= 0,448 horas) y el tiempo medio de

permanencia en la Educación Superior fue de 33,49 meses (SD= 0,669 meses).

La Tabla 2 muestra la prevalencia de SME de acuerdo a su clasificación anatómica, para la población en estudio. Como puede observarse la mayor prevalencia de SME en el último año en la población estudiantil ocurrió en el cuello, a lo largo de toda la espina dorsal (espalda alta y baja) y en las caderas y/o muslos.

Tabla 2. Estimación de la prevalencia de SME y la proporción de estudiantes imposibilitados de realizar actividades habituales a consecuencia de esta prevalencia en los últimos 12 meses

Clasificación anatómica del SME	Prevalencia SME en los últimos 12 meses	Impedimento de realizar actividades habituales en los últimos 12 meses
Cuello	0,6356 ± 0,0378	0,2905 ± 0,0357
Hombros	0,4655 ± 0,0392	0,1990 ± 0,0314
Codos	0,2183 ± 0,0324	0,1204 ± 0,0256
Muñecas/Manos	0,3242 ± 0,0368	0,2456 ± 0,0338
Espalda alta	0,5730 ± 0,0388	0,3435 ± 0,0373
Espalda baja	0,5457 ± 0,0391	0,3756 ± 0,0380
Caderas/ Muslos	0,4318 ± 0,0389	0,3018 ± 0,0360
Rodillas	0,2745 ± 0,0350	0,1830 ± 0,0304
Tobillos/ Pies	0,2681 ± 0,0348	0,1509 ± 0,0281

Nota: Estimación de intervalos de confianza del 95% de la proporción poblacional.

Fuente: Los autores.

De manera general, entre el 86,28% y el 91,24% de los estudiantes universitarios que utilizaron cotidianamente estos nueve modelos de mobiliario durante el último año, sintieron molestias musculoesqueléticas en al menos un lugar de su cuerpo. De forma más específica, puede afirmarse con un 95% de confianza, que entre el 59,78% y

el 67,34% sufrió algún malestar en el cuello durante los últimos doce meses; entre el 53,41% y el 61,19% sintieron tales síntomas en la espalda alta y entre el 50,66% y el 58,48% en la espalda baja. Es importante destacar que la menor prevalencia de SME fue localizada en los codos con el 21,83% (IC95%: 0,186-0,251).

Al parecer, los problemas a lo largo de la espina dorsal tuvieron un mayor impacto en el detrimento de la salud y el bienestar de los estudiantes. Las dolencias en la espalda alta impidieron que en el último año el 34,35% de ellos (IC95%: 0,306-0,381) realizara sus actividades habituales. Por su parte, aquellas molestias relacionadas con la espalda baja, imposibilitaron al 37,56% (IC95%: 0,338-0,414) realizar sus actividades no académicas diarias.

De forma detallada, la Tabla 3 muestra las diferencias entre la prevalencia de SME para las nueve muestras de estudiantes según el modelo de mobiliario que utilizan en sus actividades académicas diarias. Tal como puede apreciarse, tales diferencias son significativas a un nivel de significancia $p < 0,05$. Esto demuestra también que existe relación de dependencia entre el tipo de mobiliario y la presencia de SME en alguna parte del cuerpo.

Tabla 3. Prevalencia y diferencia de la prevalencia de SME entre los estudiantes de acuerdo al modelo de mobiliario

Modelo		Cuello	Hombros	Codos	Muñecas/ Manos	Espalda alta	Espalda baja	Caderas/ Muslos	Rodillas	Tobillos/ Pies
Prevalencia de SME durante los últimos 12 meses	M1	56,20	42,34	16,79	29,20	58,39	62,77	37,96	25,55	18,25
	M2	55,06	38,20	29,21	33,71	62,92	38,20	22,47	24,72	23,60
	M3	69,23	46,15	11,54	23,08	57,69	38,46	50,00	30,77	30,77
	M4	78,38	56,76	35,14	45,95	64,86	62,16	48,65	27,03	18,92
	M5	88,24	63,24	38,24	75,00	38,24	63,24	64,71	50,00	51,47
	M6	56,19	44,76	7,62	22,86	55,24	60,00	37,14	22,86	17,14
	M7	67,19	59,38	26,56	15,63	78,13	62,50	53,13	7,81	23,44
	M8	100,00	48,84	32,56	32,56	65,12	67,44	66,32	48,84	65,12
	M9	33,33	29,63	11,11	18,52	37,04	22,22	37,04	22,22	18,52
	Total	63,56	46,55	21,83	32,42	57,30	54,57	43,18	27,45	26,81
		$\chi^2=76,51$	$\chi^2=23,30$	$\chi^2=40,86$	$\chi^2=78,50$	$\chi^2=33,85$	$\chi^2=47,52$	$\chi^2=46,15$	$\chi^2=42,22$	$\chi^2=67,5$
		$p=0,00^*$	$p=0,003^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$
Impedimento para realizar actividades cotidianas durante los últimos 12 meses	M1	24,09	16,79	5,84	12,41	31,39	36,50	21,17	11,68	10,95
	M2	24,72	15,73	15,73	33,71	19,10	24,72	33,71	15,73	8,99
	M3	26,92	19,23	0,00	15,38	19,23	15,38	19,23	11,54	11,54
	M4	37,84	21,62	10,81	27,03	40,54	37,84	21,62	10,81	16,22
	M5	48,53	11,76	36,76	63,24	50,00	63,24	50,00	63,24	25,00
	M6	19,05	12,38	0,00	17,14	30,48	26,67	16,19	13,33	7,62
	M7	31,25	25,00	25,00	25,00	51,56	43,75	40,63	10,94	7,81
	M8	32,56	48,84	0,00	16,28	48,84	65,24	64,15	16,28	65,12
	M9	33,33	29,63	14,81	14,81	25,93	29,63	18,52	11,11	7,41
	Total	29,05	19,90	12,04	24,56	34,35	37,56	30,18	18,30	15,09
		$\chi^2=22,39$	$\chi^2=35,26$	$\chi^2=79,79$	$\chi^2=78,62$	$\chi^2=35,17$	$\chi^2=55,07$	$\chi^2=66,14$	$\chi^2=104,47$	$\chi^2=103$
		$p=0,004^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$	$p=0,00^*$

Nota: La prevalencia está representada en porcentajes. El asterisco representa diferencias significativas a un nivel de confianza del 95% entre la prevalencia de SME para cada modelo de mobiliario.

Fuente: Los autores.

Los SME asociados al cuello en el último año impactaron en mayor medida a los estudiantes que utilizaron el modelo de mobiliario ocho (prevalencia del 100%) y el cinco (88,24%), aunque también la prevalencia de este SME fue relativamente alta (mayor al 50%) en el resto de los modelos de mobiliario con excepción del nueve. Particularmente, aquellos estudiantes que utilizaron el mobiliario 5 tuvieron un mayor impacto en su salud, pues dada la presencia de SME asociado al cuello en el último año, el 48,53% se vio impedido de realizar sus actividades habituales durante el mismo período. Los estudiantes que utilizaron el mobiliario 5 mostraron de igual forma alta prevalencia de SME asociados a los hombros (63,24%), en las muñecas y las manos (75%), en la espalda baja (63,24%) y en las caderas/muslos (64,71%).

Por su parte, los estudiantes expuestos al mobiliario ocho también mostraron alta prevalencia en la espalda alta (65,12%), la espalda baja (67,44%), caderas/muslos (66,32%) y tobillos/pies (65,12%). Similar análisis puede realizarse para cada grupo de estudiantes de acuerdo al modelo de mobiliario empleado en sus actividades académicas.

La Tabla 4 muestra los valores de OR y sus respectivos intervalos de confianza al 95% para aquellas categorías de variables seleccionadas que pudieran estar asociadas a la prevalencia de SME. Cuando el valor OR es mayor que uno y su intervalo de confianza no incluye a la unidad entonces la asociación en estudio se considera estadísticamente significativa [20], o sea, se descarta que la asociación entre la categoría de la variable estudiada y la presencia de SME en alguna parte del cuerpo esté dada por el azar.

Tabla 4. Factores asociados a la prevalencia anual de SME en los estudiantes universitarios

Características	Cuello	Hombros	Muñecas/ Manos	Espalda alta	Espalda baja	Caderas/ Muslos	Rodillas	Tobillos/ Pies
Sexo femenino	2,431* (1,73-3,42)	2,837* (2,05-3,93)	1,214 (0,86-1,69)	1,737* (1,25-2,40)	1,759* (1,27-2,42)	1,649* (1,19-2,27)	0,816 (0,57-1,16)	1,283 (0,90-1,83)
Zurdo/a	0,516 (0,30-0,85)	0,450 (0,26-0,78)	0,291 (0,14-0,60)	0,216 (0,12-0,38)	0,524 (0,31-0,87)	0,375 (0,20-0,67)	0,326 (0,15-0,69)	0,628 (0,33-1,18)
Más de 25 años de edad	1,062 (0,52-2,12)	0,974 (0,50-1,89)	0,557 (0,25-1,24)	1,239 (0,62-2,45)	0,692 (0,35-1,34)	0,891 (0,45-1,75)	0,977 (0,46-2,06)	1,166 (0,56-2,41)
IMC mayor a 25 Kg/m ²	0,694 (0,49-0,98)	0,758 (0,54-1,06)	0,758 (0,53-1,09)	3,151* (2,00-4,95)	4,331* (2,23-8,40)	2,581* (1,83-3,63)	0,906 (0,62-1,32)	0,884 (0,61-1,29)
Más de 20h/se- mana sentado	1,968* (1,17-3,29)	0,721 (0,52-0,98)	1,064 (0,76-1,48)	0,575 (0,41-0,79)	2,387* (1,60-3,55)	0,839 (0,61-1,15)	1,590* (1,11-2,27)	0,843 (0,59-1,20)
Más de 2años de estudios superiores	1,766* (1,02-3,03)	0,949 (0,67-1,34)	1,449 (0,99-2,13)	1,195 (0,84-1,69)	1,492* (1,05-2,11)	1,648* (1,15-2,36)	2,850 (1,80-4,52)	1,278 (0,85-1,91)
Uso de Pupitre	1,585* (1,14-2,20)	1,227 (0,89-1,69)	1,674* (1,18-2,37)	1,015 (0,74-1,40)	0,713 (0,52-0,98)	1,369 (0,99-1,89)	1,243 (0,87-1,78)	2,065* (1,42-3,01)
Uso de mesa y silla	0,631 (0,45-0,88)	0,815 (0,59-1,12)	0,597 (0,42-0,85)	0,985 (0,72-1,36)	1,402* (1,02-1,93)	0,730 (0,53-1,01)	0,804 (0,56-1,15)	0,484 (0,332-0,71)

Nota: Los valores corresponden al OR. Los valores entre paréntesis corresponden al intervalo de confianza del OR al 95%. El asterisco significa que el OR es significativo a un nivel de confianza del 95%.

Fuente: Los autores

4. DISCUSIÓN

Este estudio demostró dependencia entre la presencia de SME en los estudiantes universitarios y el tipo de mobiliario escolar utilizado durante los últimos doce meses. Sin embargo, no existe evidencia suficiente para afirmar que estas incompatibilidades son la única causa de SME. Por tanto, el hecho de proveerles a los estudiantes un mobiliario completamente compatible con sus características antropométricas no necesariamente garantizará la ausencia total de SME.

El 88,76% de los estudiantes que usaron diariamente su mobiliario escolar durante el último año sintieron SME en al menos un lugar de su cuerpo (IC95%: 0,863-0,912). Es importante resaltar además que entre estos últimos, el 62,92% (IC95%: 0,591-0,667) manifestó haberse visto impedido de realizar otras actividades cotidianas habituales.

Los resultados muestran que las mujeres que se sientan en los modelos de mobiliario evaluados, tienen mayor riesgo que los hombres a sentir SME asociados al cuello, hombros, espalda alta, espalda baja y caderas/muslos. Las personas con un IMC superior a 25 Kg/m² (consideradas por la Organización Mundial de la Salud como personas con sobrepeso/obesidad [21]) tienen mayor riesgo a presentar SME a lo largo de toda la espina dorsal y las caderas/muslos. Permanecer más de 20 horas a la semana sentado representa un riesgo para la presencia de SME en el cuello, la espalda baja y las rodillas.

Aquellos estudiantes de niveles superiores (tercero, cuarto y quinto año de estudio) tienen mayor riesgo de presentar SME en cuello, espalda baja y caderas/muslos. Por último, aquellos estudiantes que de forma cotidiana utilizan pupitre unipersonal pudieran ser más propensos a desarrollar SME en el cuello, muñecas/manos y tobillos/pies, que los estudiantes que utilizan mesa y silla. Estos últimos, al parecer, son más propensos a presentar problemas en la espalda baja. Los resultados también demuestran que ser zurdo y tener más de 25 años de edad no constituyen factores de riesgo para la presencia de SME en los estudiantes.

Al considerar la presencia de SME en las nueve partes del cuerpo (cuello, hombros, codos, manos/muñecas, espalda alta, espalda baja, caderas/muslos/glúteos, rodillas, tobillos/pies) como variables categóricas de tipo nominal, las herramientas estadísticas que pudieron aplicarse fueron limitadas. En este sentido, además de la presencia de SME, se recomienda estudiar la intensidad del dolor percibido por los estudiantes, esto aumentaría el espectro de herramientas estadísticas que pudieran ser utilizadas para ahondar en la problemática.

La solución inminente para evitar la alta prevalencia de SME en los estudiantes de las IES analizadas sería cambiar todo el mobiliario escolar en el corto plazo, sin embargo, tal medida correctiva es impráctica debido al alto

monto de la inversión inicial. Una alternativa más económica sería adoptar la política de tomar cinco minutos de pausa activa entre cada hora de trabajo en el aula, para que el estudiante pueda estirar sus extremidades y reducir la exposición a malas posturas que pueden producir dolores, inflamación, parestesias u otros síntomas de trastornos musculoesqueléticos.

El cuerpo humano no está diseñado para permanecer largos periodos de tiempo sentado. Los discos entre las vértebras no cuentan con un suministro de sangre

independiente y dependen de los cambios de presión que resultan del movimiento para recibir los nutrientes y desechar sus desperdicios metabólicos [22]. La rigidez de la postura también reduce el flujo sanguíneo hacia los músculos e induce a la fatiga muscular y calambres [22].

De igual forma, sería recomendable en las IES la realización de campañas o spots promocionales para crear conciencia en el estudiantado sobre la necesidad de adoptar posturas correctas cuando se realizan actividades académicas en posición sentado.

5. CONCLUSIONES

Este estudio encontró una alta prevalencia de síntomas de trastornos musculoesqueléticos (SME) en los estudiantes universitarios de cinco IES de la ciudad de Guayaquil durante el último año, principalmente en el cuello, a lo largo de toda la espina dorsal y en las caderas/muslos. Además, las proporciones de estudiantes que manifestaron haber percibido estos síntomas y a causa de ello vieron impedida la realización de otras actividades no académicas habituales, fueron significativamente diferentes para cada modelo de mobiliario. Esto demostró a su vez, que existe relación de dependencia entre el tipo de mobiliario y la presencia de SME en alguna parte del cuerpo.

Por último, este estudio determinó que las estudiantes de sexo femenino que pasan más de 20 horas semanales sentadas en un pupitre unipersonal tienen mayor riesgo de presentar SME en

el cuello que los hombres. Las mujeres que muestran sobrepeso u obesidad ($IMC > 25 \text{ Kg/m}^2$) tienen mayor riesgo de presentar SME en la espalda alta y las caderas/muslos, y aquellas que además de lo anterior llevan más de dos años de estudios superiores y pasan más de 20 horas semanales utilizando estaciones de estudio compuestas de mesa y silla, tienen un mayor riesgo de presentar SME en la parte lumbar de la espalda.

Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en la identificación de las causas de la elevada prevalencia de SME en los estudiantes universitarios del Ecuador, pues específicamente en el caso de estudio de la ciudad de Guayaquil, esta investigación determinó que el 88,76% de los estudiantes sintió SME en al menos un lugar de su cuerpo durante el último año (IC95%: 0,863-0,912).

REFERENCIAS

- [1] B. W. Niebel and A. Freivalds, *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*, 13th ed. Ciudad de México, México: McGraw-Hill, 2014.
- [2] H. I. Castellucci, P. M. Arezes, and J. F. M. Molenbroek, "Equations for defining the mismatch between students and school furniture: A systematic review," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 48, pp. 117–126, Jul. 2015.
- [3] H. I. Castellucci, P. M. Arezes, and J. F. M. Molenbroek, "Applying different equations to evaluate the level of mismatch between students and school furniture," *Appl. Ergon.*, vol. 45, no. 4, pp. 1123–1132, 2014.
- [4] H. I. Castellucci, P. M. Arezes, and J. F. M. Molenbroek, "Analysis of the most relevant anthropometric dimensions for school furniture selection based on a study with students from one Chilean region," *Appl. Ergon.*, vol. 46, no. PA, pp. 201–211, 2015.
- [5] A. Altaboli, M. Belkhear, A. Bosenina, and N. Elfsei, "Anthropometric Evaluation of the Design of the Classroom Desk for the Fourth and Fifth Grades of Benghazi Primary Schools," *Procedia Manuf.*, vol. 3, pp. 5655–5662, 2015.
- [6] I. Dianat, M. A. Karimi, A. Asl Hashemi, and S. Bahrampour, "Classroom furniture and anthropometric characteristics of Iranian high school students: Proposed dimensions based on anthropometric data," *Appl. Ergon.*, vol. 44, no. 1, pp. 101–108, 2013.
- [7] H. I. Castellucci, M. Catalán, P. M. Arezes, and J. F. M. Molenbroek, "Evidence for the need to update the Chilean standard for school furniture dimension specifications," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 56, pp. 181–188, Nov. 2016.
- [8] J. M. Mahoney, N. A. Kurczewski, and E. W. Froede, "Design method for multi-user workstations utilizing anthropometry and preference data," *Appl. Ergon.*, vol. 46, pp. 60–66, 2015.
- [9] I. W. Taifa and D. A. Desai, "Anthropometric measurements for ergonomic design of students' furniture in India," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, pp. 1–8, 2016.
- [10] M. G. Mohamed Thariq, H. P. Munasinghe, and J. D. Abeysekara, "Designing chairs with mounted desktop for university students: Ergonomics and comfort," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 40, no. 1, pp. 8–18, 2010.
- [11] I. T. G. Souza, C. R. B. Buski, E. C. Batiz, and A. L. B. Hurtado, "Ergonomic Analysis of a Clothing Design Station," *Procedia Manuf.*, vol. 3, pp. 4362–4369, 2015.
- [12] P. Romo-Cardoso and T. del Campo-Balsa, "Trastornos musculoesqueléticos en trabajadores sanitarios y su valoración mediante cuestionarios de discapacidad y dolor," *Med. del Trab.*, vol. 20, no. 1, pp. 27–33, 2011.
- [13] A. Genç, T. Kahraman, and E. Göz, "The prevalence differences of musculoskeletal problems and related physical workload among hospital staff," *J. Back Musculoskelet. Rehabil.*, vol. 29, no. 3, pp. 541–547, 2016.
- [14] M. Mendinueta-Martínez and Y. H. Herazo-Beltrán, "Perception musculoskeletal discomfort and postural risk among employees of a higher education institution," *Salud Uninorte*, vol. 30, no. 2, pp. 170–179, 2014.
- [15] R. M. Rosario Amézquita and T. I. Amézquita Rosario, "Prevalencia de trastornos músculo-esqueléticos en el personal de esterilización en tres hospitales públicos," *Med. Segur. Trab. (Madr.)*, vol. 60, no. 234, pp. 24–43, Mar. 2014.
- [16] I. Kuorinka, B. Jonsson, A. Kilbom, H. Vinterberg, F. Biering-Sørensen, G. Andersson, and K. Jørgensen, "Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms," *Appl. Ergon.*, vol. 18, no. 3, pp. 233–237, 1987.
- [17] A. Tezel, "Musculoskeletal complaints among a group of Turkish nurses," *Int. J. Neurosci.*, vol. 115, no. 6, pp. 871–880, 2005.

- [18] M. Mendinueta-Martínez, Y. H. Herazo-Beltrán, and Y. Pinillos-Patiño, "Factors associated with the perception of low back pain in workers of a ground transportation company," *Salud Uninorte*, vol. 30, no. 2, pp. 192–199, 2014.
- [19] T. Kahraman, A. Genç, and E. Göz, "The Nordic Musculoskeletal Questionnaire: cross-cultural adaptation into Turkish assessing its psychometric properties," *Disabil. Rehabil.*, vol. 38, no. 21, pp. 2153–2160, Oct. 2016.
- [20] J. Cerda, C. Vera, and G. Rada, "Odds ratio: aspectos teóricos y prácticos," *Rev. Med. Chil.*, vol. 141, no. 10, pp. 1329–1335, Oct. 2013.
- [21] OMS, "Obesity: preventing and managing the global epidemic," Ginebra, Suiza, 2000.
- [22] C. Parcells, M. Stommel, and R. P. Hubbard, "Mismatch of classroom furniture and student body dimensions," *J. Adolesc. Heal.*, vol. 24, no. 4, pp. 265–273, Apr. 1999.

Obtainment and purification of Ficin for its possible use as a natural blood anticoagulant

Obtención y purificación de Ficina para su posible uso como anticoagulante natural

W. Rosero¹, R. Ávalos²

Abstract: *The study of the active principles of plants exhibiting proteolytic enzymes cysteine protease type, such as bromelain and papain have shown significant interaction with coagulation factors inhibiting them somehow and in this way it could be a solution for blood coagulation problems as thrombosis. Ficin is an enzyme with similar characteristics, this study aims to perform the extraction purification and analysis of the enzymatic activity of Ficin to be test for in vitro anticoagulant capacity. It has been extracted and conducted an evaluation of the various conditions of purification by chromatography on Sephadex G-100 and Sephadex C-75, with ammonium acetate buffer 0,05M pH 7,0. By polyacrylamide gel electrophoresis it was determined that the enzyme was purified in a 60%. The enzyme extract mainly consisting of Ficin have demonstrated higher specific activity in isolated fractions of Sephadex G-75. Blood tests were performed successfully demonstrating the in vitro anticoagulant capacity at a concentration equal to or greater than 30% of content on a 1:400 dilution of the crude extract. Based on the results obtained it is possible to affirm that the Ficin has a high anticoagulant activity being this way a molecule with high potential in the biomedicine, it is recommended to continue investigating to enhance the method of obtaining and purifying the Ficin to be able to pass to in vivo analysis.*

Keywords: *ficin, blood anticoagulant, chromatography.*

Resumen: El estudio de los principios activos de plantas que presentan enzimas proteolíticas del tipo cisteino proteasa como la Bromelina y la Papaína ha demostrado importante interacción con los factores de coagulación inhibiéndolos de alguna manera y pudiendo así dar solución a problemas de coagulación sanguínea y enfermedades catastróficas como la trombosis. Siendo la Ficina una enzima con características similares el presente estudio pretende realizar la extracción, purificación y análisis de la actividad enzimática de la Ficina para determinar si presenta capacidad anticoagulante in vitro. Se ha extraído y realizado una evaluación de las distintas condiciones de purificación mediante cromatografía en Sephadex G-100 y Sephadex C-75, con buffer acetato de amonio 0,05M pH 7,0. Mediante una electroforesis en gel de poliácridamida se determinó que la enzima logró ser purificada sobre el 60% sin alcanzar el éxito total. El extracto de Ficina obtenido demostró poseer mayor actividad específica en las fracciones aisladas de Sephadex G-75. Las pruebas en sangre se realizaron de manera exitosa demostrándose la capacidad anticoagulante *in vitro* a una concentración igual o mayor al 30% de contenido en una dilución 1:400 del extracto crudo. En base a los resultados obtenidos se puede afirmar que la Ficina presenta una alta actividad anticoagulante siendo esta de esta forma una molécula con alto potencial en la biomedicina, se recomienda continuar investigando para afinar el

- 1 Wendy Rosero Toledo, Estudiante de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, wrosero@espe.edu.ec
- 2 Dr. Rodrigo Ávalos Zambrano, Docente investigador del área de Biotecnología Industrial de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ravalos@espe.edu.ec

método de obtención y purificación de la Ficina para poder pasar a un proceso de análisis *in vivo*.

Palabras clave: ficina, anticoagulante sanguíneo, cromatografía.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio y desarrollo de nuevos fármacos se logra a partir del estudio sistemático de sustancias contenidas en plantas. Gracias a que Ecuador es un país megabiodiverso tanto en flora como en fauna esto nos brinda la oportunidad de investigar, estudiar y conocer las actividades y principios biológicos de plantas y aplicarlas como una alternativa terapéutica ante las enfermedades de nuestra población [1].

Ficus insipida, conocida comúnmente como “higo” tiene un látex que posee un gran contenido de enzimas pertenecientes a la familia de las cisteíno proteasas, entre las que destaca la Ficina como principal componente, ésta se encuentra estrechamente relacionada con otras enzimas de la misma familia: Papaína y Bromelina [2]; ésta última

siendo ampliamente conocida por su efecto antiinflamatorio e inmunomodulador, e incluso se le atribuye un efecto anticoagulante *in vitro* [3].

Gracias a experimentación *in vitro* se sabe que esta reacción enzimática en cadena posee dos vías distintas, las llamadas vía intrínseca y extrínseca, cada una con diferentes proteínas llamadas “factores de la coagulación” [5].

Debido a la similitud entre la Papaína y Bromelina con la Ficina surge la interrogante de si la Ficina, siendo también una cisteíno proteasa, podría tener alguna interacción con las proteínas que participan en la cascada de la coagulación sanguínea, inhibiéndola y así provocando alguna modificación en los parámetros de la misma [3,6].

2. METODOLOGÍA

2.1 Obtención de la muestra

Se extrajo el látex de las ramas y tallo del árbol de higo (*Ficus insipida*) mediante incisiones en la corteza y en la piel de los frutos inmaduros. Se colocó el material obtenido en un contenedor estéril hermético previamente pesado y refrigerado por 24 horas. El material vegetal se refrigeró a 4°C hasta su análisis en laboratorio.

2.2 Purificación de la enzima

Se preparó un buffer de acetato de amonio 0,05M pH 7 a una temperatura de trabajo ambiente. Se pesó la cantidad de látex obtenido inicialmente, siendo esta de 2,68g de extracto crudo, y se suspendió en el buffer de acetato de amonio a una proporción de 1:20 (53,6mL). Se centrifugó el extracto suspendido en el buffer a 4000rpm durante 15min a 4°C.

En primera instancia se aplicó 5mL del sobrenadante en 100mL de buffer de extracción sobre una columna de Sephadex G-100 (1,2 x 6,2cm). En las fracciones colectadas, con flujo de 1mL/min, se midió la actividad proteolítica mediante la prueba sobre leche.

Como segunda instancia se aplicó 5mL del sobrenadante en 100mL de buffer de extracción sobre una columna de Sephadex G-100 (1,2 x 14,8cm). Se fijó el mismo flujo para las fracciones colectadas y se midió la actividad proteolítica mediante la prueba sobre leche.

Adicionalmente se aplicó 5mL del sobrenadante en 100mL de buffer de extracción sobre una columna de Sephadex G-75 (1,2 x 12,5cm). Se fijó el mismo flujo para las fracciones colectadas y se midió la actividad proteolítica mediante la prueba sobre leche.

Para determinar el progreso de la purificación se realizó una electroforesis vertical en gel de poliacrilamida utilizando el marcador de peso molecular BenchMark™ Pre-stained Protein Ladder de 6 a 180 kDa para la detección de las proteínas presentes en las fracciones colectadas ya que se sabe por bibliografía que la Ficina tiene un tamaño de 29kD.

2.3 Actividad proteolítica

Durante la purificación de la enzima, su actividad proteolítica se midió sobre leche, para lo cual se trabajó con 2,5mL de leche al 15% con 1mL de enzima. Se tomó el tiempo que necesitó cada fracción en coagular la leche, a temperatura ambiente y a una temperatura de 30°C.

2.4 Verificación de la capacidad anticoagulante

Las muestras de sangre venosa periférica fueron extraídas de sujetos voluntarios previo consentimiento informado, clínicamente sanos y sin tratamiento farmacológico alguno. Cuatro donantes voluntarios cumplieron los criterios de inclusión con previo consentimiento informado y sus respectivas muestras se utilizaron en la investigación

Las muestras fueron extraídas mediante jeringas estériles de 12mL de capacidad. Para determinar la propiedad del extracto enzimático como agente anticoagulante se incubó la sangre extraída a 30°C con el extracto enzimático y se midió el tiempo que las fracciones tardaron en formar coágulos visibles.

Se propuso un diseño experimental del tipo factorial (tres factores), utilizando la fracción con mayor actividad proteolítica.

3. RESULTADOS

3.1 Purificación de la enzima

En el primer paso de purificación sobre Sephadex G-100 y Sephadex G-75

el sobrenadante del extracto crudo (látex de *Ficus insipida*) fue fraccionado en cuatro, diez y doce tubos respectivamente, como se indica en la tabla II.

3.2 Actividad proteolítica

Para la medición de la actividad proteolítica de las fracciones colectadas en

cada método cromatográfico expuesto anteriormente se obtuvieron los resultados, en tiempo, que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Fracciones colectados en las variaciones del método cromatográfico utilizado en la purificación enzimática

Método	N° de fracciones	Vol. (mL)	Tiempo en formar el coagulo (min)	
			T. amb.	30°C
<i>Sephadex G-100</i> (1,2x6,2)	1	25	2	1
	2		15	1,5
	3		27,5	4
	4		36	9,5
<i>Sephadex G-100</i> (1,2x14,8)	1	10	-	-
	2		-	-
	3		-	-
	4		-	10*
	5		30	5,8
	6		29	5
	7		28	4
	8		28,5	4,5
	9		2,5	1
	10		-	14,5*
<i>Sephadex G-75</i> (1,2x12,5)	1	10	-	-
	2		-	-
	3		-	12,5*
	4		21	4,5
	5		6	3
	6		20	4,5
	7		24	5
	8		36	6
	9		-	12,5*
	10		-	14*
	11		-	-
	12		-	-

Fuente: Elaboración propia

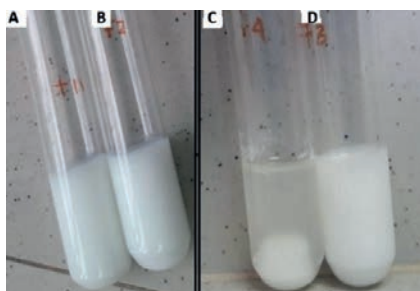
Las fracciones representadas con asterisco en la Tabla 1, coagularon la leche sin causar su separación, mostrando una solidificación total de la misma, como se muestra en la Figura 1. En la parte A y B se presentan muestras de leche sin ningún tipo de modificación. En la parte C se presenta la leche con separación de sus partes a diferencia de la leche de la parte D en donde se evidencia solidificación total.

Realizando el análisis estadístico para la interacción de la temperatura

respecto al tipo de cromatografía y el tiempo se comprueba que con la temperatura a 30°C el tiempo de coagulación descende significativamente, como se muestra en el diagrama de cajas en la Figura 2.

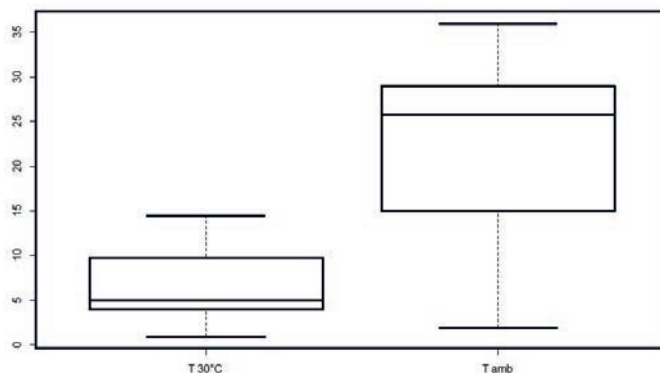
En la figura 3 se presenta un análisis global de los tres parámetros en conjunto, comprobando así que la cromatografía en Sephadex G-75 presenta los tiempos menos variables y relativamente bajos en comparación a los otros dos tipos de cromatografía realizados.

Figura 1. Pruebas realizadas sobre leche para comprobar la actividad proteasa de las fracciones colectadas



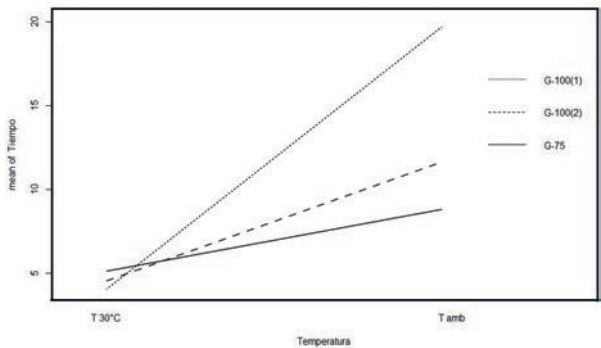
Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Diagrama de cajas que muestra la interrelación entre la temperatura y el tiempo (en minutos) de coagulación de la leche



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Interrelación de los distintos tipos de cromatografía en cuanto a la temperatura y el tiempo (en minutos) para la coagulación de la leche



Fuente: Elaboración propia

En la comprobación de la purificación enzimática por electroforesis en gel de poliacrilamida se utilizaron las fracciones con mayor y menor actividad de todos los métodos cromatográficos anteriores, la distribución en los pocillos se muestra en la Tabla 2.

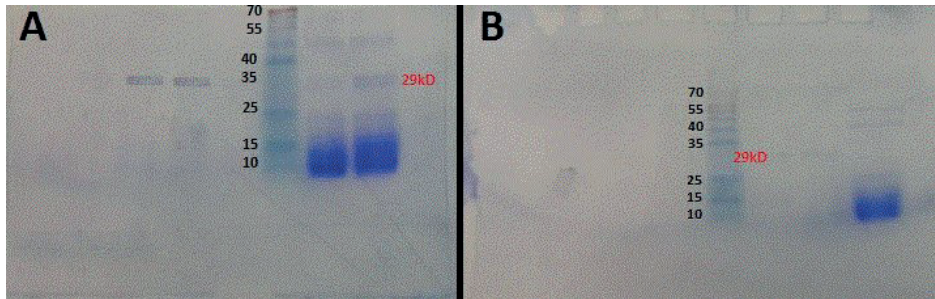
Los geles analizados mostraron una serie de bandas, a diferentes longitudes y con diferentes intensidades como se muestra en la Figura 4. En la parte A se muestra las bandas presentadas por las

fracciones con mayor actividad proteolítica sobre Sephadex G-100 (1,2 x 14,8cm) y G-75, mientras que el gel de la parte B es sobre Sephadex G-100 (1,2 x 6,2cm). Las fracciones que mostraron menor tiempo en la comprobación de su acción proteolítica mostraron la banda que se conoce por bibliografía pertenece a la enzima Ficina; en un tamaño de aproximadamente 29kD, mientras que por el contrario, para las fracciones que presentaron nula actividad proteolítica no se determinó ningún patrón de bandas.

Tabla 2. Distribución de las muestras biológicas utilizadas en la corrida electroforética en gel de poliacrilamida

Gel 1						
N° de pocillos						
1	2	3	4	5	6	7
F8-G75	F4-G75	F8-G100 (1,2x14,8)	F4-G100 (1,2x14,8)	Marca	Sobren.	Extr. Crud
Volumen utilizado (uL)						
15	15	15	15	10	15	15
Gel 2						
N° de pocillos						
1	2	3	4	5	6	7
F11-G75	F1-G75	F1-G100 (1,2x14,8)	Marcador	F2-G100	F1-G100	Sobr
Volumen utilizado (uL)						
15	15	15	10	15	15	15

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Geles de poliacrilamida para determinar la purificación enzimática

Fuente: Elaboración propia

Tras realizar una segunda experimentación tomando como referencia que la mejor purificación se obtiene con

Sephadex G-75 se obtuvo la enzima en banda única como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Gel de poliacrilamida para determinar la purificación de la enzima

Fuente: Elaboración propia

3.3 Verificación de la capacidad anticoagulante

Para la determinación de la capacidad anticoagulante de la enzima se consideró la fracción siete del ensayo

sobre Sephadex G-100 (1,2 x 14,8cm) y la fracción cinco sobre Sephadex G-75. Se obtuvo los tiempos que tomó cada fracción en coagular la sangre, como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Tiempos y observaciones de los ensayos de la capacidad anticoagulante de las fracciones con mayor actividad proteolítica

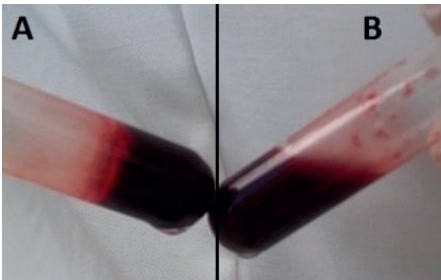
Fracción siete - Sephadex G-100 (1,2x14,8cm)			
Tubo N°	Tiempo de coagulación (min)		
1	4,5	5	4,5
2	4,5	5	4,5
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	35	38	36
7	30	27	31
Fracción cinco - Sephadex G-75			
Tubo N°	Tiempo de coagulación (min)		
1	5	4,5	4,5
2	5	4,5	4,5
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	-
7	38	35	36

Fuente: Elaboración propia

En el ensayo control se mostró coagulación sanguínea a menos de cinco minutos de iniciada la incubación. De la misma manera la sangre que contenía solo el buffer de extracción mostró coagulación a un tiempo similar al del control, como indica la Figura 6. En la

parte A de la figura se muestra el control del ensayo en donde se observa coagulación sanguínea. En la parte B se muestra la función del extracto enzimático sin dilución en donde se evidenció ausencia de coagulación sanguínea.

Figura 6. Pruebas realizadas sobre sangre para determinar la capacidad anticoagulante del extracto enzimático



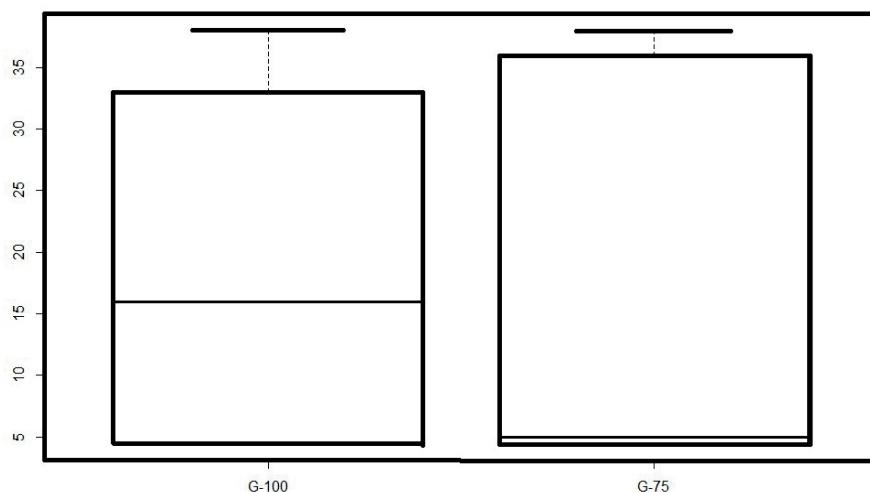
Fuente: Elaboración propia

La diferencia entre los ensayos realizados con las fracciones de las diferentes cromatografías se analiza en la gráfica de la Figura 7. En donde se comprueba que la fracción cinco de Sephadex-G75 presenta mayor eficiencia que la fracción siete de Sephadex-G100.

Por otra parte los ensayos del extracto a diferentes concentraciones resultaron efectivos hasta el 60% de concentra-

ción en la fracción siete sobre Sephadex G-100 (1,2 x 14,8cm) y del 30% de concentración de la fracción cinco sobre Sephadex G-75, como se indica en la Figura 8. En la parte A se muestra la fracción siete de Sephadex G-100 (1,2 x 14,8cm), en la parte B se muestra la fracción cinco de Sephadex G-75. Ambas en una concentración del 80% sin presentar coagulación sanguínea.

Figura 7. Diagrama de cajas que representa la diferencia entre las fracciones con mayor actividad obtenidas de los distintos tipos de cromatografías



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Sangre con la enzima obtenida de las fracciones purificadas



Fuente: Elaboración propia

4. DISCUSIÓN

Las columnas de Sephadex son comúnmente utilizadas para la purificación enzimática; la técnica lleva el nombre de cromatografía de filtración en gel, en donde las moléculas son filtradas, de acuerdo a su tamaño, en este caso se utilizaron columnas G-100 y G-75; que pueden usarse para proteínas de 4kDa – 150kDa y de 3kDa- 80kDa respectivamente, debido a que la Ficina tiene un peso molecular de 29kDa [7].

Para poder realizar la purificación correctamente se necesita realizar el procedimiento en varias fracciones, de modo que se vayan separando de acuerdo a su tamaño, para este trabajo se utilizaron alrededor de diez fracciones pues en esta técnica las moléculas más grandes se quedan en la primera fracción y así sucesivamente; es decir, las fracciones van de moléculas de mayor tamaño a moléculas de menor tamaño, ya que la enzima de interés es de 29kDa es necesario extraer varias fracciones y medir la actividad proteolítica de modo que se pueda determinar en cuál de las fracción se encuentra en mayor proporción la Ficina, ya se ha visto en el estudio realizado por Anzañero, Escobar & Yarlequé [8] en el que se purificó una enzima proteolítica de 22kDa mediante la utilización de esta técnica [7,8].

Al realizarse la determinación de la actividad proteolítica, se puede observar que existe una relación entre la fracción y la actividad proteolítica, pues para fracciones más altas el tiempo de coagulación es mayor a temperatura

ambiente y a 30°C como se puede observar en la tabla II, estos resultados coinciden con el mecanismo de purificación pues se espera que las moléculas más grandes estén en las primeras fracciones y la Ficina que tiene un peso de 29kDa se encuentre en mayor cantidad en las últimas fracciones [9].

La corrida en gel de poliacrilamida permite distinguir el peso molecular de las proteínas teniendo marcadores de referencia, en el presente estudio se usó para comprobar la existencia de la enzima y determinar si existen otras proteínas tras el proceso de purificación [10], como se puede observar en la figura 3 las fracciones con mayor actividad proteolítica muestran la aparición de bandas correspondientes con el peso molecular de la enzima, sin embargo también se puede observar con menor intensidad la presencia de otras proteínas, este es un resultado por el rango en el que se manejan las columnas de Sephadex [7, 8].

Siendo la Ficina una enzima proteolítica que actúa en la cascada de coagulación, la determinación de su actividad puede realizarse de distintas formas [11], en este trabajo se realizó en sangre fresca pues se puede evidenciar de manera directa la acción de la enzima al medir el tiempo de la formación de coagulo sanguíneo [12].

La verificación de la capacidad anticoagulante se comprobó en las fracciones con mayor actividad proteolítica, y se puede determinar que poseen actividad anti-

coagulante como se puede observar en las tablas IV, en donde no hubo coagulación en los tubos 3, 4 y 5 para la fracción siete sobre Sephadex G-100 (1,2x14,8cm) y en los tubos 3, 4, 5 y 6 para la fracción cinco sobre Sephadex G-75, esto se debe a que éstas fracciones tienen mayor cantidad y actividad específica de Ficina tras el proceso de purificación.

Se ha reportado efectos tóxicos tras la administración oral del extracto enzimático de *Ficus insipida* tales como náuseas, vómitos, diarrea, calambres y edema cerebral entre otros; pero todos ellos fueron ocasionados tras ingerirlo en sobredosis mayores a 1,5 cm³/kg de peso; sin embargo, no se ha reportado un efec-

to anticoagulante tras su administración oral en las dosis recomendadas [13].

Muchos investigadores han estudiado el contenido enzimático de este látex, el cual recibió el nombre de Ficina (3,23-25). Ésta pertenece a la superfamilia de cisteino proteasas, compartiendo propiedades fisicoquímicas similares con la Bromelaina. Se ha reportado que la Bromelaina tiene un efecto anticoagulante por la inhibición del factor X de la cascada de coagulación [12]. Debido al alto contenido de Ficina en el látex de *Ficus insipida* y que ésta posee propiedades similares con la Bromelaina, podríamos inferir que esta enzima sería la responsable del efecto anticoagulante in vitro. [13, 14].

5. CONCLUSIONES

Tras las pruebas realizadas por cromatografía en gel se determinó una mejor purificación con Sephadex-G75 por el menor tamaño del poro para la migración de proteínas. Aun así, la enzima Ficina no logró ser purificada completamente por lo cual se recomienda realizar una purificación con cromatografía de intercambio iónico y en última instancia cromatografía en gel con tamaños de poro menores como Sephadex G-50 y G-25.

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten afirmar que el látex de *Ficus insipida* posee principios activos para inhibir in vitro la cascada de coagulación sanguínea a una concentración igual o mayor al 30% de contenido en una dilución 1:400 del extracto crudo.

Se considera muy importante continuar investigando y realizando pruebas

pues para afirmar categóricamente que el compuesto responsable de la anticoagulación es la Ficina, se debe aislar este complejo proteico del látex y realizar determinaciones in vitro sobre que factor en particular es el que inhibe dentro de las vías extrínseca e intrínseca de la coagulación sanguínea.

Adicionalmente se propone investigar si la Ficina al ser una cisteino proteasa podría lisar también los enlaces peptídicos del polímero de fibrina una vez formado. Así mismo, es necesario elaborar estudios in vivo en modelos animales para determinar su efecto tras la administración oral o parenteral y así establecer si este podría ser usado en la terapia farmacológica anticoagulante o fibrinolítica en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de forma especial a mi tutor; Dr. Rodrigo Ávalos, quien ha creído firmemente en mí y me ha apoyado en todo momento, ha sido mi guía no solo dentro del laboratorio sino además en el arduo camino que implica la ciencia como tal. Agradezco además al Dr. Armando Reina y a la Dra. Thelvia Ramos, grandes investigadores y científicos, quienes me han guiado en cada paso, cada momento en el que me sentí perdida han sabido apoyarme de manera incondicional.

Dentro de las primeras pruebas que se realizó en este trabajo, deseo agradecer a mis compañeros y amigos; especialmente a Sebastián Chile y Abigail

Benavides, quienes colaboraron siempre comprometidos y de forma desinteresada en este proyecto y sus resultados a futuro.

Quiero expresar mi gratitud a mi prestigiosa institución, la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por su gran labor formando profesionales dentro y fuera de las aulas, por su altísimo nivel y visión, por sus laboratorios de alto renombre que siempre han sido guiados de la mejor manera, en el caso de mi laboratorio agradezco completamente a la Lcda. Silvana Granda por su maravillosa labor dirigiendo los laboratorios de Ingeniería en Biotecnología.

REFERENCIAS

- [1] L. López, L. Priolo, M. Arribére, N. Caffini, "Proteasas de Plantas Superiores. 11. Ficina (EC 3.4.22.32)", *Acta Farmacéutica Bonaerense*, vol. 7, Marzo, 1994, pp. 123-131.
- [2] R. García, R. Quintero, A. López, "Proteasas de alto interés comercial", *Biotecnología alimentaria*, vol. 5, Octubre, 1998, pp. 78-99.
- [3] J. Miale, *Hematología: Medicina de Laboratorio*, 2da Ed, Barcelona: Reverté, 1985, pp. 236-245.
- [4] M. Arderiu, J. Lacambra, *Bioquímica clínica y patología molecular*, 1era Ed, Barcelona: Reverté, 1998, pp. 88-96.
- [5] C. Trejo, *Anticoagulantes: Farmacología, mecanismos de acción y usos clínicos*, Fecha de Acceso: 11/05/2016, <http://www.uach.cuad/farmacologiaclinica/mecanismos>.
- [6] F. Benavente, "In vitro effect of the latex of *Ficus insipida* in the blood coagulation cascade", *Medical Journal*, vol. 5, Septiembre, 2010, pp. 146-152.
- [7] P. Andrews, "Estimation of the molecular weights of proteins by Sephadex gel-filtration", *Biochemical Journal*, vol. 91, Mayo, 1964, pp. 222-233.
- [8] M. Azañero, A. Yarlequé, "Purification of a proteolytic enzyme from the venom of *Bothrops* brazil snake and study of its activity on fibrinogen", *Biology Journal*, vol. 7, Abril, 2000, pp. 55-66.
- [9] C. Valdemiro, E. Donald, R. Jhon, "Separation of the proteolytic enzymes of *Ficus carica* and *Ficus glabrata* latices", *The Journal of Biological Chemistry*, vol. 239, Julio, 1964, pp. 2170-2178.
- [10] H. Pérez, "Electroforesis en geles de poliacrilamida: fundamentos, actualidad e importancia", *Universo Diagnóstico*, vol. 1, Febrero, 2000, pp. 31-37.
- [11] W. Morgan, "The products of the degradation of blood-group-specific substances by ficin and papain", *Biochemistry Journal*, vol. 81, December, 1961, pp. 648-658.

- [12] S. Giménez, “Pruebas de coagulación sanguínea”, *Medicina 21*, vol. 2, Mayo, 2012, pp. 12-14.
- [13] G. Richter, D. Friedrich, P. Turecek, “Activation and inactivation of human factor X by proteases derived from *Ficus carica*”. *British Journal of Haematology*, vol. 119, December, 2002, pp. 1042–1051.
- [14] S. Bhaskara, “Use of chitosan as a biomaterial: Studies on its safety and hemostatic potential”, *Journal of Biomedical Materials Research*, vol. 34, January, 1997, pp. 21-28.

Electronic system for weight lift control and monitoring

Sistema electrónico para el control y monitoreo del levantamiento de peso

J. Castillo-Guerrero¹, A. Aguilar-Ramon²

Abstract: *This paper describes the process of implementing an electronic system for the control and prevention of musculoskeletal disorders in people who need to lift weight on a daily frequency. The system consists of a resistive pressure sensor FSR placed in an ergonomic glove and an Arduino Nano implemented in a handle. Both elements enable to monitor the data of the weight lifted by the person, working with ranges up to 15 kg. An Android application was also designed to help the user to prevent possible injuries in weight lifting by mean of a graphical interface that allow users to monitor the process and warn them from possible musculoskeletal injuries, in determined periods of time.*

Keywords: *muscular diseases, sensor FSR, Arduino Nano, Android App, musculoskeletal disorders, effective weightlifting.*

Resumen: En este artículo se describe el proceso de implementación de un sistema electrónico para el control y prevención de enfermedades en las personas que levantan demasiado peso con una frecuencia diaria. El sistema consta de un sensor de presión resistivo FSR colocado en un guante ergonómico, en donde conjuntamente con un Arduino Nano implementado en una manilla, monitoreará los datos del peso levantado por la persona, trabajando con rangos de hasta los 15Kg de peso. Adicionalmente se diseñó una aplicación en Android, para ayudar al usuario a prevenir posibles lesiones en el levantamiento de peso, con la generación de una interfaz gráfica de monitoreo de peso levantado y alarmas que adviertan sobre posibles lesiones del usuario, en varios periodos determinados de tiempo.

Palabras clave: enfermedades musculares, sensor FSR, Arduino Nano, Aplicación Android, desórdenes músculo esqueléticos, levantamiento de peso efectivo.

-
- 1 John Mathews Castillo Guerrero, estudiante de décimo nivel de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Sistemas Industriales de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, jcastillo2@est.edu.ec
 - 2 Adrián Paolo Aguilar Ramon, estudiante de décimo nivel de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Sistemas Industriales de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, aaguilarr1@est.unps.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

El excesivo levantamiento de cargas es responsable de muchos factores de riesgos, como la aparición de fatiga física, o bien de lesiones, que se pueden producir de una forma inmediata o por la acumulación de pequeños traumatismos generados por manipulación de carga [1] [2]. Las lesiones más frecuentes son entre otras: contusiones, cortes, heridas, fracturas y sobre todo lesiones músculo-esqueléticas [3]. Se pueden producir en cualquier zona del cuerpo, pero son más sensibles los miembros superiores, y la espalda, en especial en la zona dorso lumbar [4]. Se considera que la manipulación ma-

nual de toda carga que pese más de 2.5 kg puede entrañar un potencial riesgo dorso lumbar no tolerable, ya que, a pesar de ser una carga bastante ligera, si se manipula en unas condiciones ergonómicas desfavorables (alejada del cuerpo, con posturas inadecuadas, excesivos periodos de levantamiento de cargas), podría generar un riesgo grave para la salud de las personas [5].

Por lo antes expuesto se diseñó e implementó un sistema de alerta para enfermedades relacionadas con el excesivo levantamiento de peso que realizan las personas adultas en sus actividades cotidianas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Manipulación manual de cargas

Se entiende por manipulación manual de cargas cualquiera de las siguientes operaciones efectuadas por uno o varios trabajadores: el levantamiento, la colocación, el empuje, la tracción, el transporte o el desplazamiento de una carga [6].

La manipulación manual de cargas puede causar trastornos acumulativos debido al progresivo deterioro del sistema musculo esquelético por la realización continua de actividades de levantamiento y manipulación de cargas (por ejemplo, dolores dorsos lumbares) [6]. Además, la manipulación de cargas puede acarrear traumatismos agudos

como cortes o fracturas debidos a accidentes [7].

2.2 Trastornos musculoesqueléticos que se producen al levantar demasiado peso

Entre los desórdenes musculoesqueléticos más comunes en la espalda se encuentran la distensión muscular y la hernia discal. La primera consiste en rotura o desgarramiento del músculo a consecuencia de un estiramiento exagerado [8]. Dicha dolencia puede ocurrir por la realización de un desplazamiento repentino, como por ejemplo un tropiezo, intentar cargar objetos de mucho peso o estar durante mucho tiempo sosteniendo una carga [8].

Las hernias discales, por su parte, pueden ser provocadas por la manipulación excesiva de carga y la realización de inclinaciones de manera continuada a lo largo de meses y años. Tal esfuerzo sistemático puede causar la rotura o el desplazamiento de uno de los discos de la parte baja de la columna, ya que son los discos más expuestos [8].

En las manos, como consecuencia del levantamiento de pesos, la lesión más común es la Tenosinovitis Estenosante de Quervain [10]. Esta afecta a dos ten-

dones localizados en la parte externa de la muñeca y que llegan al primer dedo o pulgar por la parte posterior, haciendo que éste se separe del resto de la mano y se estire. Es más frecuente su aparición en trabajadores que aprieten objetos con el pulgar mientras muevan la muñeca [10].

La Tabla 1 muestra los factores de riesgo relacionados al peso máximo de la carga y el tiempo mínimo de sostenimiento que pueden generar algunas lesiones musculoesqueléticas clásicas.

Tabla 1. Factores de riesgo de lesiones musculoesqueléticas en hombro, espalda y mano

Región	Lesión	Peso máx. (Kg)	Tiempo (min)
Hombro	Bursitis subacromial	15 a 25	8 a 17
	Mango Rotador	15 a 25	8 a 17
Espalda	Distensión Muscular	20 a 30	7 a 12
	Hernia Discal	20 a 30	5 a 15
Rodilla	Tenditis Rotuliana	18 a 23	12 a 20
Mano	Tenosinovitis Estenosante	3 a 10	5 a 10

Fuente: [2]

2.3 Medidas preventivas para levantamiento de cargas

Los accidentes y las enfermedades se pueden prevenir eliminando o, al menos, reduciendo los riesgos que entraña la manipulación manual de cargas [9]. Para ello se deben aplicar las medidas que se enumeran a continuación, por orden de prioridad:

- Medidas técnicas: si la manipulación manual de cargas no se puede

evitar, se debe considerar el uso de equipos de apoyo, como cabrestantes, carros y equipos neumáticos [9].

- Medidas organizativas: si la reducción de los riesgos que entraña la manipulación manual de cargas no es posible, se debe rotar a las personas que realizan dicha actividad e introducir pausas suficientemente prolongadas [9].

3. MATERIALES Y MÉTODOS

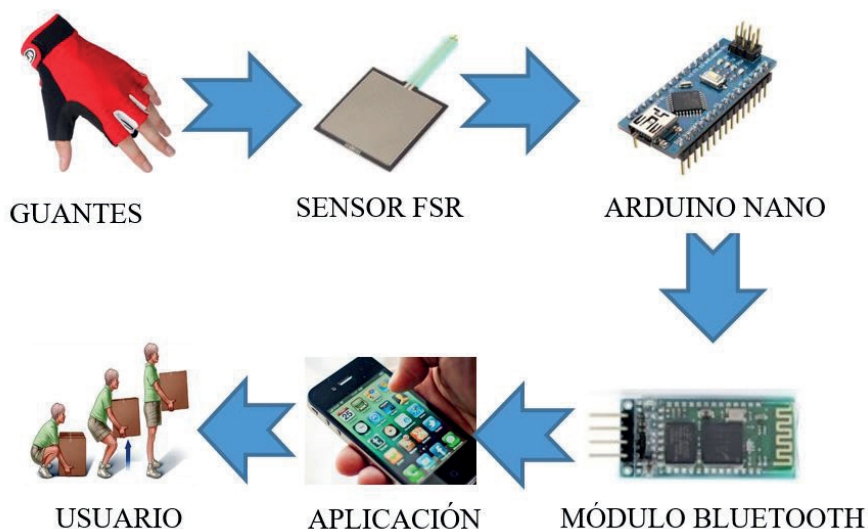
3.1 Implementación

En el diagrama de la Figura 1, se indica la implementación del sistema, en el cual, el proceso inicial transcurre desde el guante hasta la utilización del sistema en el cliente. Los componentes electrónicos utilizados en el sistema, constan de un sensor resistivo FSR que se coloca en la palma del guante, en donde, los datos monitoreados de presión van hacia un Arduino Nano, por medio de un módulo bluetooth, que

dirige los respectivos datos hacia un Smartphone por medio de una aplicación móvil encargada de monitorear, almacenar datos y alertar al usuario sobre el excesivo peso levantado.

La aplicación diseñada permitirá visualizar el monitoreo del peso diario que levanta la persona. El usuario podrá ejercer control sobre sus propios movimientos de acuerdo a los datos proporcionados por el sistema.

Figura 1. Diagrama de implementación



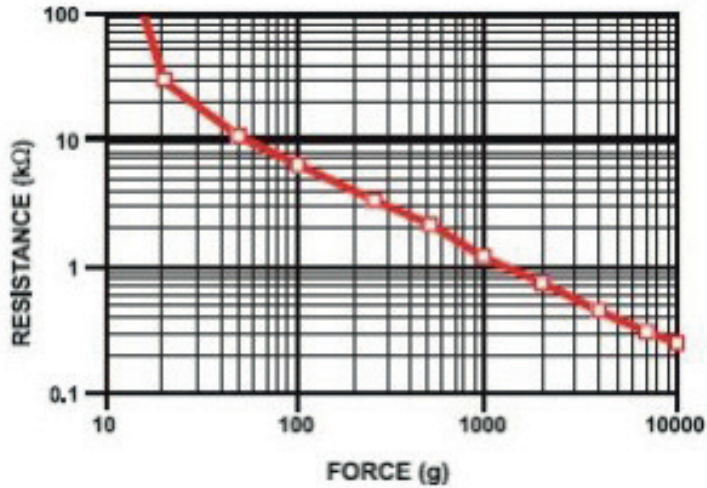
3.2 Comportamiento del sensor FSR

El sensor utilizado, es de tipo resistivo, su funcionamiento es: A una mayor

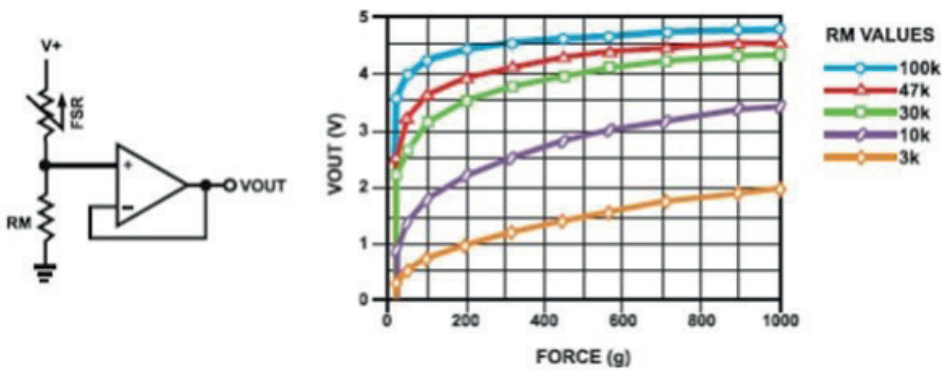
fuerza ejercida sobre él, menor será la resistencia. La Figura 2a muestra la variación de resistencia en función de la fuerza aplicada.

Figura 2 a) Diagrama de comportamiento del sensor FSR en Resistencia vs Fuerza
 b) Voltaje de salida frente a la fuerza ejercida sobre el sensor FSR, de acuerdo a la resistencia utilizada en el amplificador

a)



b)

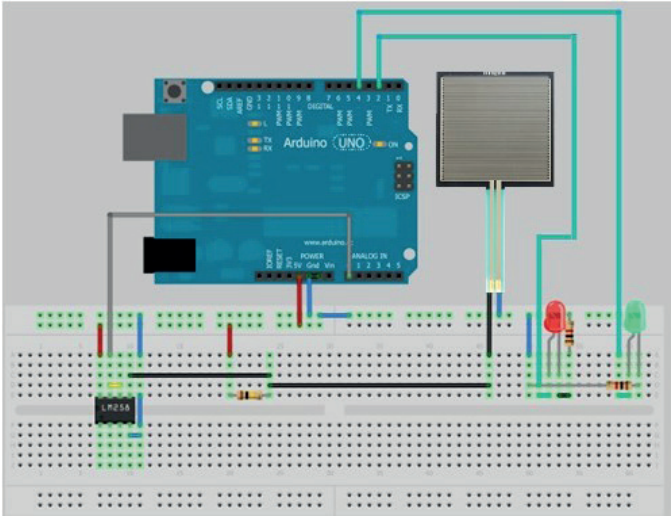


3.3 Circuito usado para la implementación

El circuito electrónico usado para la implementación, se indica en la Figura 3, se añaden dos LEDs de alarma, un

LED de color rojo que indica un excesivo levantamiento de peso, acorde a lo descrito en [8], y un LED de color verde que indica que se está alzando un peso normal.

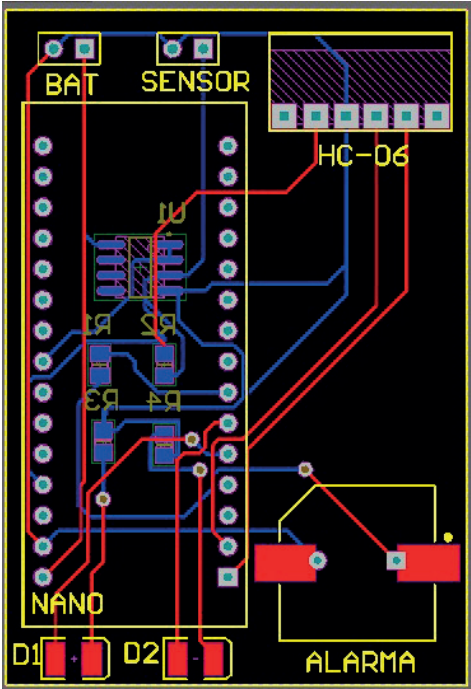
Figura 3. Circuito implementado para el sistema



Una vez comprobado el funcionamiento del sistema, se procedió a realizar el diseño de la placa en el software

Altium, para una mejor ergonomía en el usuario. Como se puede visualizar en la Figura 4.

Figura 4. Placa Final del sistema diseñada en Altium

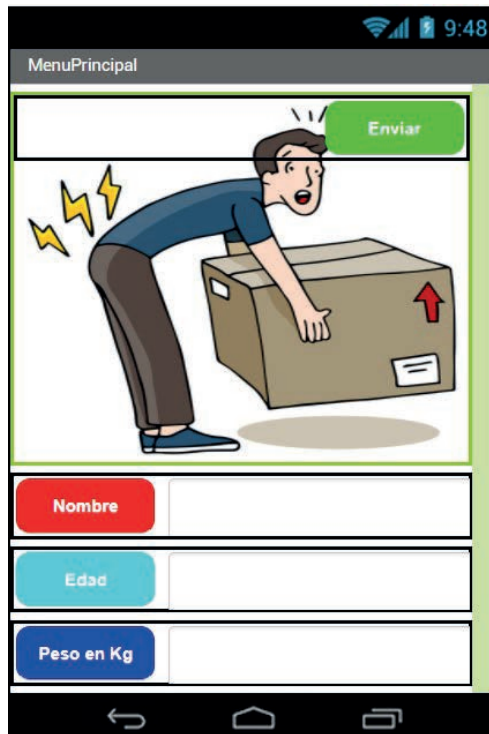


3.4 Aplicación móvil

La aplicación se la realizó por medio de AppInventor. A continuación, se muestra la pantalla del Smartphone con la aplicación de usuario, la cual genera un monitoreo gráfico de la señal del

sensor resistivo de acuerdo al peso que se está levantando. De la misma forma, indica la alerta al usuario cuando excede el levantamiento normal de peso, por medio de los LEDs implementados, acumulando todo el monitoreo en una base en una base de datos.

Figura 5. Aplicación del sistema de control de levantamiento de peso en AppInventor



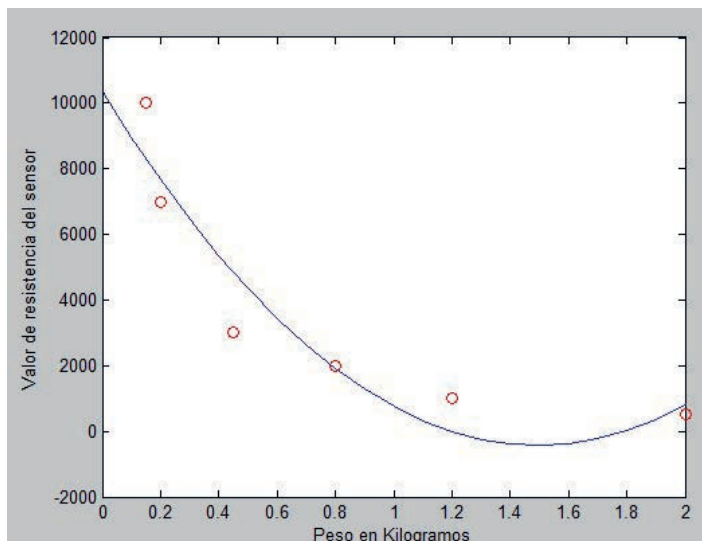
4. RESULTADOS

4.1 Calibración del sensor de presión

Mediante pruebas con diferentes pesos, se procedió a calibrar el sensor de

presión, como se describe en la Figura 6. Los puntos rojos son las muestras obtenidas, luego se hizo una regresión para aproximar una curva de comportamiento del sensor utilizado.

Figura 6. Curva generada en el software MATLAB del comportamiento del sensor de presión resistivo mediante regresión

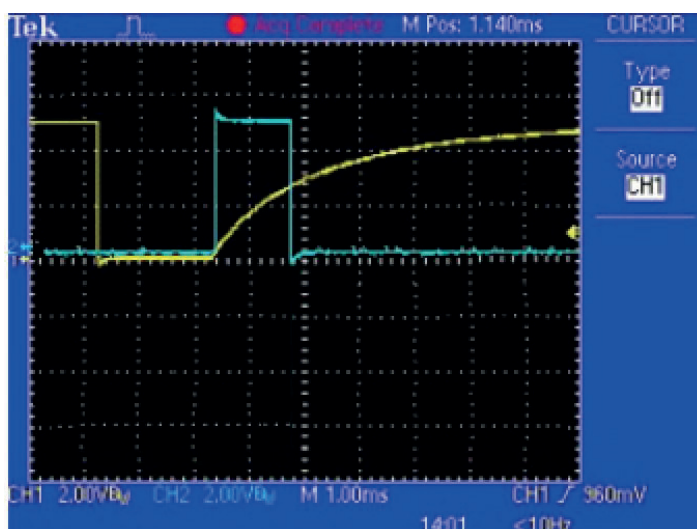


4.2 Calibración del sensor de presión

A continuación, se indica lo que ocurre en el pin digital (amarillo). La línea

azul indica cuándo empieza a sensor un peso de 1Kg y así simultáneamente hasta esperar el valor del siguiente peso, con rango de respuesta de 1.2 ms. Visualizar la Figura 7.

Figura 7. Señales adquiridas del sensor resistivo por medio de un osciloscopio, al levantar 1kg de peso

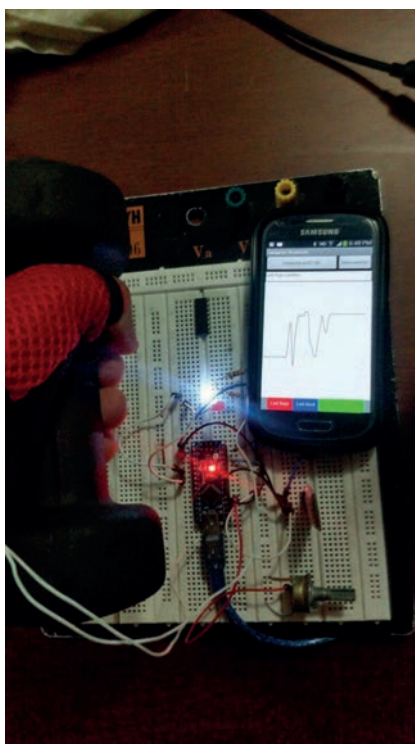


4.2 Implementación

Paulatinamente se procedió a comprobar y analizar el funcionamiento de la aplicación conjuntamente con el guante calibrado con el sensor FSR, como se puede visualizar en la Figura 8, en donde exitosamente se presentó buenos resultados, monitoreando desde la aplicación en Android el peso que le-

vanta la persona en un determinado periodo de tiempo, dando claramente una alarma mediante varios LED's, puesto que si la persona excede el rango permitido de levantamiento de peso, llegando a calibrarse automáticamente acorde a la contextura física, peso y edad de cada usuario, luego de haber corroborado estos valores en la base de datos interna que tiene la aplicación en Android.

Figura 8. Prueba de la aplicación y del circuito armado del control de levantamiento de peso



4.3 Pruebas del sistema de control de levantamiento de peso en usuarios

Se manejaron pruebas de funcionamiento a 3 tipos de personas de

diferentes edades descritas a en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de las personas que realizaron las pruebas

Individuos	Edad	Peso	Altura
Individuo 1	14 años	65 Kg	165 cm
Individuo 2	65 años	70 Kg	150 cm
Individuo 3	22 años	84 Kg	170 cm

Una vez obtenidos los datos del monitoreo de peso del usuario, se procede a extraer datos de la curva de regresión desarrollada mediante el software MATLAB. La Tabla 3 permite visualizar los valores resistivos generados por el sensor de acuerdo al peso levantado, cuyos valores mínimos y máximos considerados en esta investi-

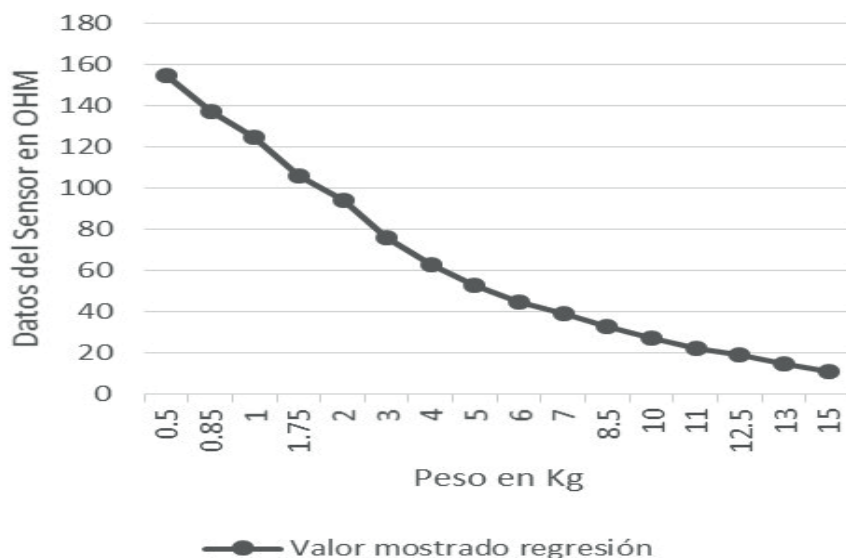
gación fueron de 0.15Kg y 16Kg, respectivamente.

La Figura 9 muestra la curva de regresión que indica la existencia de un alto índice de molestias musculoesqueléticas en el hombro, espalda y rodilla, cuando se alzan pesos sobre los 8.5Kg, cuando los datos medibles del sensor varían de 30 a 5 ohm.

Tabla 3. Valores dados por el sensor por medio de MATLAB

Valor medido (Kg)	Valor mostrado regresión	Límite inferior	Límite superior
0.15	186	180	190
0.5	155	150	160
0.85	137	132	140
1	125	119	129
1.75	106	100	111
2	94	89	99
3	76	70	81
4	63	59	69
5	53	48	58
6	45	39	50
7	39	32	43
8.5	33	27	37
10	27	22	32
11	22	18	27
12.5	19	13	23
13	15	9	19
15	11	5	15
16	9	3	11

Figura 9. Monitoreo de control de pesos



5. CONCLUSIONES

Se determinó y justificó que el rango de operación del sensor resistivo FSR cuadrado usado, es desde los 0.15 kg hasta un máximo de 16 Kg, dando a conocer que a partir de 8 a 17 min de levantamiento de peso de una determinada carga mayor a 8.5Kg, puede acusar enfermedades riesgosas para el usuario como la bursitis muscular, una tenditis rotuliana y hasta distinción muscular en la espalda, dando al usuario una alerta, un monitoreo eficaz y un mejor cuidado de dichas enfermedades con la aplicación realizada, utilizando un guante ergonómico, que facilita el monitoreo y la manipulación de cargas para el usuario, comprobando con los datos obtenidos en el monitoreo, que la enfermedad más riesgosas para el usuario es la Tenosino-

vitis Estenosante que se puede generar en la mano y la Hernia Discal que se puede generar en la parte inferior de la espalda. Este proyecto puede expandirse mucho más en cuanto a innovación, el resultado mostrado es solo una parte de lo que se puede realizar, se puede decir que es la primera parte de una serie de cosas por realizar. El hecho de poder tener una aplicación móvil, hace que los usuarios tengan una mejor comodidad, es por eso que se maximizaron esfuerzos en realizar la programación de la aplicación móvil con comunicación bluetooth y una base de datos interna que monitoree y guarde todos los datos de levantamiento de peso que el usuario genera diariamente ya sea en su trabajo o en sus actividades cotidianas.

REFERENCIAS

- [1] Vernaza-Pinzón, P., & Sierra-Torres, C. H. Dolor músculo-esquelético y su asociación con factores de riesgo ergonómicos, en trabajadores administrativos. *Rev salud pública*, 7(3), 317-26. (2005).
- [2] Piedrahita, H. Evidencias epidemiológicas entre factores de riesgo en el trabajo y los desórdenes músculo-esqueléticos. *Revista MAPFRE Medicina*, 15(3), 212-221. (2004).
- [3] García, A. M., Gadea, R., Sevilla, M. J., Genís, S., & Ronda, E. Ergonomía participativa: empoderamiento de los trabajadores para la prevención de trastornos musculoesqueléticos. *Revista española de salud pública*, 83(4), 509-518. (2009).
- [4] Luttmann, A., Jäger, M., Griefahn, B., Caffier, G., Liebers, F., & World Health Organization. Prevención de trastornos musculoesqueléticos en el lugar e trabajo. (2004).
- [5] Hasegawa, Y., Hoshino, T., & Tsukahara, A. Wearable assistive device for physical load reduction of caregiver-adaptive to caregiver's motion during transferring support. In *World Automation Congress (WAC)*, 2016 (pp. 1-6). IEEE. (2016, July).
- [6] Montoya Díaz, M., Palucci Marziale, M. H., do Carmo Cruz Robazzi, M. L., & Taubert de Freitas, F. C. Lesiones osteomusculares en trabajadores de un hospital mexicano y la ocurrencia del ausentismo. *Ciencia y enfermería*, 16(2), 35-46. (2010).
- [7] Gómez, B. Manual de prevención de riesgos laborales. MARGE BOOKS. (2017).
- [8] Muñoz Ch, S. Lesiones musculares deportivas: diagnóstico por imágenes. *Revista chilena de radiología*, 8, 127-132. (2002).
- [9] Montiel, M., Romero, J., Quevedo, A. L., Rojas, L., Chacin, B., & Sanabria, C. Valoración de la carga postural y riesgo musculoesquelético en trabajadores de una empresa metalmeccánica. *Salud de los Trabajadores*, 14(1), 61-69. (2006).
- [10] Chaves Moreno, A. Tenosinovitis estenosante del tendón flexor (dedo en resorte). *Medicina Legal de Costa Rica*, 25(1), 59-65. (2008).

Citotoxic and apoptotic activity of extracts from leaves and juice of *Passiflora Edulis*

Actividad citotóxica y apoptótica de los extractos de hojas y jugo de *Passiflora Edulis*

J. Aguillón¹, S. Arango², D Uribe³, C. Cuervo⁴, S. Hurtado⁵

Abstract: Liver cancer has become as the second cause of cancer related death worldwide, with hepatocellular carcinoma being the most frequent type of liver cancer. Some phytochemicals derived from different parts of plants have shown anti-proliferative and proapoptotic activity; however, few advances in research on promising bioactive substances has been reported. In the present work, it was evaluated the effect of leaf and juice extracts of *P. edulis* var. *flavicarpa* on the viability, cytotoxicity and induction of apoptosis, in an in vitro model of liver cancer (HepG2 cell). Phytochemical analysis of the extracts was based on the quantification of polyphenolic and polysaccharide content, metabolites to which antitumor properties have been attributed. In this way, it was found that the leaf extract had a higher polyphenolic content, whereas in the juice extract more polysaccharide content was observed. On the other hand, a significant decrease in viability was observed with juice extract at 400 µg /ml and a significant increase in cytotoxicity by leaf extract at 25 µg /ml; finally, both extracts significantly increased proapoptotic activity. The results suggest

that *P. edulis* is a potential source of phytochemical compounds with anticancer properties in the cellular model evaluated.

Keywords: *passiflora*, liver cancer, cytotoxicity, apoptosis.

Resumen: El cáncer de hígado se ha constituido como la segunda causa de muerte asociada a cáncer en el mundo, siendo el carcinoma hepatocelular el tipo de cáncer de hígado más frecuente. Algunos fitoquímicos derivados de diferentes partes de las plantas, han mostrado actividad antiproliferativa y proapoptótica; sin embargo, son pocos los avances en investigación sobre las sustancias bioactivas promisorias. En el presente trabajo se evaluó el efecto de extractos de hojas y jugo de *P. edulis* var. *flavicarpa* sobre la viabilidad, citotoxicidad e inducción de apoptosis, en un modelo *in vitro* de cáncer de hígado (células HepG2). El análisis fitoquímico de los extractos se basó en la cuantificación del contenido polifenólico y polisacárido, metabolitos a los cuales se les han atribuido propiedades antitumorales. De esta manera,

- 1 Johanny Aguillón Osma, Máster en Ciencias Biomédicas, Licenciado en Biología y Educación Ambiental, Docente de la Universidad del Quindío, Colombia, jaguillon@uniquindio.edu.co.
- 2 Sandra Sulay Arango Varela, Máster en Biotecnología, Bióloga, Docente Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia, sandraarango@itm.edu.co
- 3 Diego Fernando Uribe Yunda, Doctor en Ciencias Básicas Biomédicas, Biólogo, Docente Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia, diegouribe@itm.edu.co
- 4 Carolina Cuerva Pareja, Estudiante de Pregrado en Ingeniería Biomédica, Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia, carolinacuervo102425@correo.itm.edu.co
- 5 Sandra Hurtado Isaza, Estudiante de Pregrado en Ingeniería Biomédica, Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia, sandrahurtado129449@correo.itm.edu.co

se encontró que el extracto etanólico de hojas presentó un mayor contenido polifenólico, mientras que en el extracto de jugo se observó mayor cantidad de contenido polisacárido. Por otra parte, se observó una disminución significativa en la viabilidad con el extracto de jugo a 400 µg/ml y un aumento significativo de la citotoxicidad por parte del extracto de hojas a 25 µg/ml; finalmente,

ambos extractos aumentaron significativamente la actividad proapoptótica. Los resultados sugieren que *P. edulis* es una fuente potencial de compuestos fitoquímicos con propiedades anticancerígenas en el modelo celular evaluado.

Palabras clave: passiflora, cáncer hepático, citotoxicidad, apoptosis.

1. INTRODUCCIÓN

El cáncer de hígado es la quinta neoplasia más frecuente en hombres y la novena en mujeres, con 782.000 nuevos casos de cáncer diagnosticados en el 2012; es la segunda causa de muerte asociada a cáncer en el mundo, con 746.000 muertes en el año 2012 [1]. El carcinoma hepatocelular (CHC) es el tipo de cáncer de hígado más frecuente, se produce por la transformación de hepatocitos y es común en pacientes con cirrosis, considerado el estado pre-neoplásico [2]. Entre los principales factores de riesgo se encuentran la infección por el virus de la hepatitis B (VHB), virus de la hepatitis C (VHC), ingesta de alcohol, exposición dietaria a Aflatoxina B1 (AFB1) y el tabaco, entre otros [3]. Así mismo, en los últimos años se ha demostrado que la diabetes mellitus y otros factores asociados al síndrome metabólico como la obesidad o las dislipidemias, favorecen el incremento de las tasas de incidencia y mortalidad del CHC [4].

A lo largo de la historia, la medicina tradicional ha sido utilizada para el tratamiento del cáncer; práctica adoptada debido a las ventajas que han demostrado en términos de eficiencia, pocos efectos secundarios, fácil disponibili-

dad y la mejora en la calidad de vida. Numerosas investigaciones han identificado una diversidad de componentes en estas plantas de uso medicinal con potencial quimiopreventivo y/o quimioterapéutico, siendo la familia de los polifenoles un grupo de gran interés [5].

Entre los polifenoles mejor caracterizados se encuentran los flavonoides, que son un grupo de metabolitos secundarios, con estructura fenólicas variables y que se encuentran en diferentes partes de la planta; más de 5.000 flavonoides se han extraído de plantas medicinales y sus estructuras químicas han sido elucidadas. Algunos de estos, han sido reportados con actividad biológica para el tratamiento de varias afecciones como enfermedades cardiovasculares [6], diabetes [7], cáncer [8], [9], [10], infecciones virales, así como su potencial protector contra el daño hepático [5].

La especie *Passiflora edulis* conocida con el nombre común de maracuyá, parchita, o fruto de la pasión, es cultivada en países tropicales y subtropicales; la variedad *P. edulis* Sims var. *flavicarpa*, tiene frutos amarillos y crece desde el nivel del mar hasta 1.000 msnm [11], diferentes partes de la planta se han uti-

lizado en la medicina tradicional para el tratamiento de trastornos nerviosos, cardiovasculares, como relajante muscular y cáncer (tumores intestinales) [12], [13], [14]. Adicionalmente, diferentes estudios han demostrado la capacidad de sus extractos para inhibir las proteínas MMP-2 y MMP-9, dos Metaloproteasas implicadas en la invasión tumoral, metástasis y la angiogénesis [15], los extractos etanólicos y acuosos de *P. edulis* han evidenciado actividad

antioxidante, y se demostró su efecto sobre la reducción de la viabilidad de líneas celulares de cáncer de colon [16]. Esta planta es promisoría para la búsqueda de compuestos bioactivos para la prevención y control de procesos cancerígenos. En el presente trabajo se evaluó la actividad citotóxica y apoptótica de extractos de *P. edulis Sims var. Flavicarpa* sobre la línea de carcinoma hepatocelular HepG2.

2. METODOLOGÍA

2.1 Obtención de las muestras

Hojas y frutos frescos de *Passiflora edulis* F. *flavicarpa* fueron colectados en el Municipio de Caicedonia, Valle del Cauca, Colombia (4.2424°N, 75.5649°W a 1100msnm). Los especímenes fueron identificados en el Herbario de la Universidad del Quindío (Colección: 18063).

2.2 Obtención de los extractos de *P. edulis*

El extracto etanólico de hojas se obtuvo por lixiviación con etanol al 96% durante 8 días. Luego se realizó una separación de clorofilas. El extracto del jugo se obtuvo de frutos con grado de maduración para consumo humano. Se realizó una filtración de la pulpa del fruto y luego se centrifugó a 2400rpm por 1 minuto. Ambos extractos fueron concentrados en un rotavapor (Heidolph™) hasta llevarlos a sequedad, para ser almacenado protegido de la luz a -20°C hasta su uso [16].

2.3 Determinación del contenido fenólico total

El contenido fenólico total de ambos extractos fue determinado a través del método Folin – Ciocalteau [17]. La absorbancia de los ensayos fue medida a 765nm, usando como blanco una solución de Na_2CO_3 al 2%. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mg equiv/g extracto), de acuerdo con una curva de calibración realizada previamente, tomando como patrón al ácido gálico.

2.4 Determinación del contenido polisacárido total

Se utilizó el método fenol – ácido sulfúrico para medir el contenido polisacárido total [18]. La absorbancia fue medida a 490nm. Se realizó previamente una curva de calibración con glucosa, los resultados son expresados como mg equivalentes de sacárido por gramo de extracto.

2.5 Cultivo celular

Para los ensayos se utilizó la línea celular de cáncer de hígado HepG2. Las células fueron cultivadas en medio DMEM (Gibco) suplementado con suero bovino fetal al 10%, 100U/ml de penicilina, 100ug/ml de estreptomycin (Life Technologies), mantenidas a 37°C en atmosfera humidificada con CO₂ al 5%. Las células fueron cultivadas en platos de 96 pozos (1 x 10⁴ células /pozo) y se establecieron por 24 horas antes de iniciar los tratamientos.

2.6 Determinación de la viabilidad celular: ensayo MTT

La evaluación de la citotoxicidad de los extractos se evaluó con el ensayo MTT [3-(4,5 dimetiltiazol-2-il)-2,5difenetrasolium bromuro] (Sigma Aldrich), siguiendo la metodología de Ramírez [19]. Después de 24 horas de establecimiento de las células, se iniciaron los tratamientos con diferentes concentraciones de los extractos (25μg/ml, 50μg/ml, 100μg/ml, 200μg/ml y 400μg/ml), por 24, 48 y 72 horas. Finalizado el tiempo, se les adicionó 20μl de MTT (5mg/ml en PBS) y se incubaron durante 4 horas a 37°C en oscuridad. Finalmente, se midió la absorbancia a 560nm usando el sistema de multideteccción GlomaxTM (Promega). Como control negativo se utilizó células sin tratamiento. Los ensayos se realizaron por quintuplicado para cada una de las concentraciones evaluadas.

El porcentaje de viabilidad de determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ viabilidad} = (\text{DOt} / \text{DOc}) \times 100$$

Donde, DOt es la densidad óptica de las células tratadas con los extractos y DOc es la densidad óptica de las células sin tratamiento.

2.7 Evaluación del efecto de los tratamientos sobre viabilidad, citotoxicidad y apoptosis

Para determinar la viabilidad, citotoxicidad y apoptosis inducida por los tratamientos, se utilizó el estuche comercial ApoTox-GloTM TriplexAssay kit (Promega) siguiendo las recomendaciones del fabricante. Para el ensayo, 1 x 10⁴ células fueron sembradas por pozo, con los extractos a concentraciones de 25μg/ml, 100μg/ml y 400μg/ml e incubadas a 37°C durante 72 horas. Todas las mediciones se realizaron por triplicado en el sistema de multideteccción Glomax (Promega) y los resultados fueron presentados como unidades relativas de fluorescencia (URF) y como unidades relativas de luminiscencia (URL).

2.8 Análisis estadístico

Para todos los ensayos se usó un diseño experimental completamente al azar. Las medias y la comparación de las diferencias de las medias entre células tratadas y no tratadas, con intervalos de confianza del 95% ± DE se obtuvieron utilizando GraphPad Prism® 6.0 (GraphPad Software Inc., La Jolla, Estados Unidos). Se utilizó la prueba t de Student de dos colas para el análisis no pareado, para comparar los resultados entre células tratadas y no tratadas. Así mismo, se realizó un análisis de varianza de una vía (ANO-

VA). Valores $p < 0,05$ se consideraron estadísticamente significativos. Todos

los experimentos se llevaron a cabo al menos por triplicado.

3. RESULTADOS

Se calcularon los porcentajes de rendimiento de obtención de cada uno de los extractos de *P. edulis*, encontrando que para el extracto de hojas el rendimiento fue de 2% y para el extracto del Jugo de 39%. En cuanto al contenido polifenólico, el extracto de hojas pre-

sentó un mayor contenido con 150,3 mg equiv ác gálico/g de extracto, mientras que para el contenido polisacárido fue el extracto de Jugo el que presentó mayor proporción con 365mg equiv/g de extracto (Tabla 1).

Tabla 1. Contenido polifenólico y polisacárido de los extractos

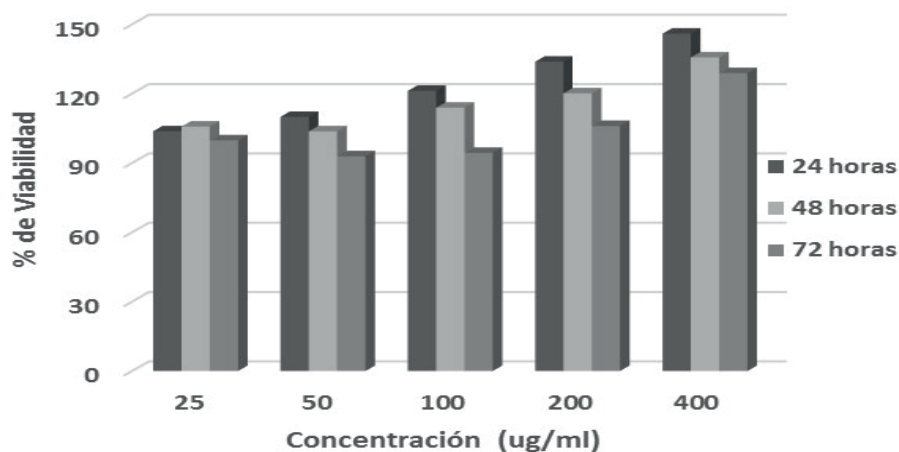
Extracto	Contenido Polifenólico (mg equiv ác. gálico/g de extracto)	Contenido Polisacárido (mg equiv./g de extracto)
Etanólico de Hojas	150,3 \pm 22,5	154,7 \pm 16,9
Acuoso de Jugo	28,2 \pm 12,4	365,5 \pm 18,8

Fuente: Autores

Con el ensayo MTT se observó que para el extracto etanólico de hojas, a medida que se aumentaba la concentración del extracto, aumentaba la viabilidad celular; sin embargo, al aumentar el tiempo de exposición en todas las concentraciones evaluadas, disminuida la viabilidad (Figura 1.). Es importante resaltar que ninguna de las concentraciones evaluadas presentó una viabilidad inferior al 92%.

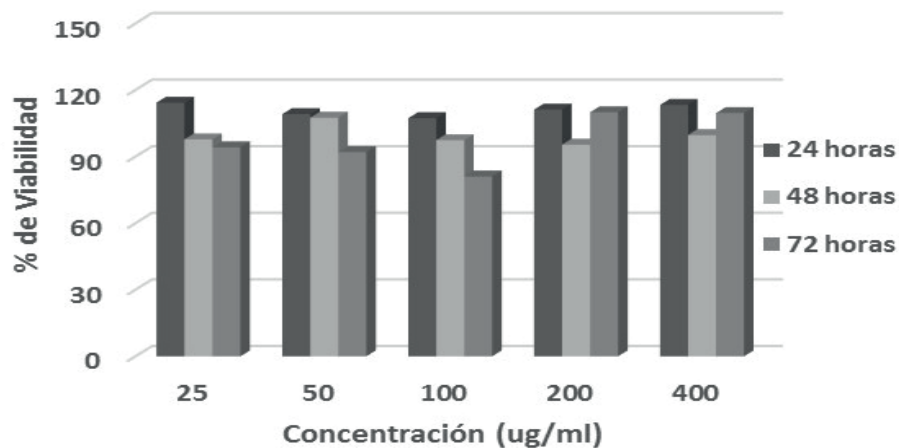
Para el extracto del Jugo de *P. edulis* el comportamiento fue diferente, ya que no se obtuvieron cambios importantes en los porcentajes de viabilidad en las primeras 48 horas de tratamiento. Sin embargo, después de 72 horas, se observó una reducción en la viabilidad para las tres primeras concentraciones (25 μ g/ml, 50 μ g/ml y 100 μ g/ml) (Figura 2.). La mayor disminución de viabilidad al 81% fue con la concentración de 100 μ g/ml a 72.

Figura 1. Viabilidad celular con el extracto etanólico de hojas de *P. edulis*



Fuente: Autores

Figura 2. Viabilidad celular con el extracto de Jugo de *P. edulis*



Fuente: Autores

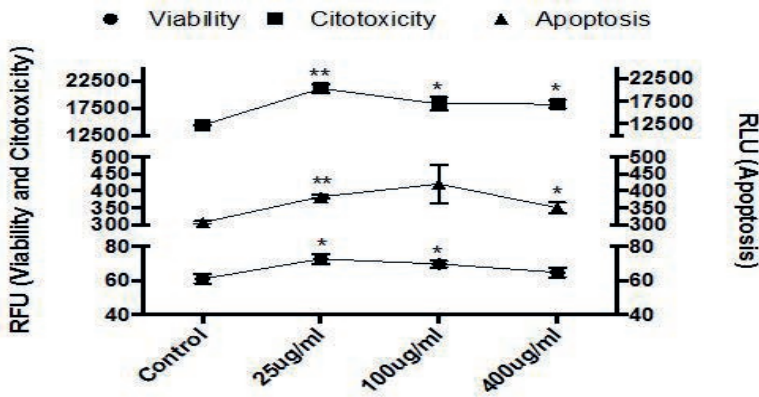
Al evaluar la viabilidad de las células HepG2 frente a los extractos con el Kit ApoTox-Glo™, se encontró que para el extracto de hojas la viabilidad aumentaba a las concentraciones de 25 y 100µg/

ml, siendo este aumento significativo con respecto al control (Figura 3). Por el lado del extracto del Jugo, se observó una disminución de la viabilidad a 400µg/ml ($p \leq 0,001$) (Figura 4).

Por otro lado, la citotoxicidad causada por el extracto de hojas aumento significativamente comparada con el control, siendo la concentración de 25 $\mu\text{g/ml}$ la que causó mayor toxicidad (Figura 3). En el caso del extracto del jugo, a pesar de que los niveles de citotoxicidad aumentaron a medida que se incrementó la concentración del extracto, este aumen-

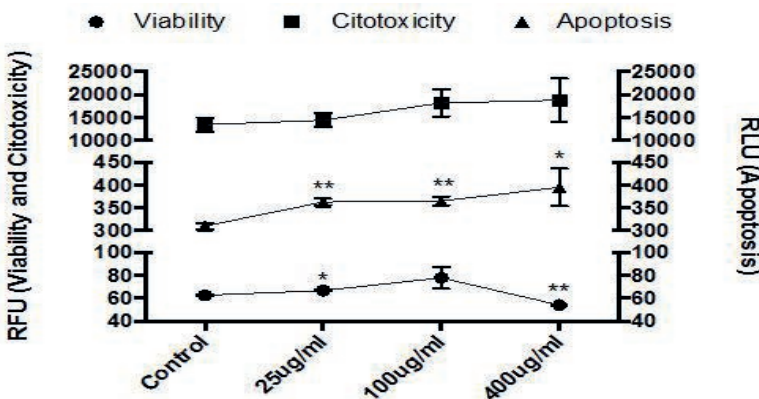
to no fue estadísticamente significativo (Figura 4). Finalmente, los resultados del efecto inductor de apoptosis señalan que tanto el extracto de hojas como el extracto del Jugo aumentan significativamente la actividad de las caspasas 3 y 7, siendo el efecto del extracto de Jugo el que causo una mayor actividad proapoptótica (Figura 3 y 4).

Figura 3. Viabilidad, citotoxicidad y apoptosis celular con el extracto de hojas de *P. edulis*



Fuente: Autores

Figura 4. Viabilidad, citotoxicidad y apoptosis celular con el extracto de Jugo de *P. edulis*



Fuente: Autores

4. DISCUSIÓN

El desarrollo del cáncer depende en gran medida de la alteración en los mecanismos que regulan la proliferación celular, así como de los componentes involucrados en la supresión de la apoptosis; por lo tanto, estos procesos celulares representan objetivos obvios para la intervención en cualquier tipo de estrategia terapéutica contra el cáncer. En este sentido, varios estudios se han enfocado en las propiedades citotóxicas y/o antiproliferativas de extractos naturales, con altos contenidos polifenólicos o polisacáridos, demostrando su significativo potencial como agentes anticancerígenos [20].

En la actualidad los polisacáridos son considerados un grupo de gran interés por su potencial para inhibir el crecimiento tumoral o para inducir apoptosis, como se ha demostrado en estudios *in vitro* y en modelos animales [21], [22]; además, se ha observado que los polisacáridos derivados de plantas son relativamente seguros comparados con otros inmunomoduladores debido a su baja toxicidad. Así mismo, los polifenoles son otro grupo de compuestos, de los cuales se ha demostrado en diversos estudios, que poseen actividad biológica asociada con la prevención de diferentes tipos de cáncer [9], [23], [24]. El efecto quimiopreventivo de los polifenoles se debe al potencial para regular el ciclo celular, capacidad de inducir apoptosis, actividad antioxidante, inducción de desintoxicación enzimática, regulación del sistema inmune, acti-

vidad anti-inflamatoria y efectos sobre la señalización celular [25]. En el contexto específico del cáncer de hígado, se ha validado su actividad antimutagénica y anticancerígena [9], [20], [26]. Por estas razones, puede decirse, que los efectos observados por parte de los extractos tanto de hojas como de Jugo de *P. edulis*, pueden deberse al alto contenido tanto de polisacáridos como de polifenoles.

Si se realiza una comparación de los resultados observados con los extractos de hojas y jugo en otras líneas celulares (SW480, SW620, Caco-2, Vero), se presenta una diferencia con respecto a la respuesta tanto citotóxica como en la inducción de la apoptosis [16], [27], [28]. Estas diferencias pueden deberse a la variación intrínseca ligada al origen de cada línea celular, lo que plantea la necesidad de evaluar los extractos en la mayor diversidad de líneas celulares posibles, ya que la respuesta celular está mediada por varios factores como el metabolismo propio de cada línea celular, la presencia de receptores membranales específicos, la inestabilidad genómica y la diversidad de los fenotipos celulares.

En comparación con otras líneas celulares, las células HepG2 han presentado una mayor resistencia a la actividad biológica tanto de los polifenoles como de los polisacáridos [22]. Por ejemplo, en el estudio de Kuete [29], el efecto citotóxico del extracto del jugo de *P. edulis* sobre las células de leuce-

mia CCRF-CEM presentó un DL_{50} de $8,2\mu\text{g/ml}$, mientras que para las células HepG2 la concentración máxima evaluada ($80\mu\text{g/ml}$) no generó toxicidad. Del mismo modo, Ramos [30], reportó un bajo efecto citotóxico del jugo de maracuyá sobre las células de cáncer de mama MCF-7, ya que la DL_{50} fue de $>500\mu\text{g/ml}$; no obstante, este mismo autor reporta, que el tipo de extracción por la cual es obtenido el extracto va a determinar la pureza de los metabolitos y por ende su efecto citotóxico.

Una de las posibles explicaciones del efecto sobre la apoptosis observados en nuestros resultados, podría ser dada por la acción de los polisacáridos de los extractos sobre el transductor de señal y activador de la transcripción 3 (STAT3), el cual es un importante factor de supervivencia en la regulación de la proliferación celular y el desarrollo de cáncer. Shen [31], sugieren que la inactivación de STAT3, mediada por los polisacáridos presentes en los frutos de *Curcubita moschata*, es responsable del efecto inductor de apoptosis.

Por otra parte, en todas las partes de *P. edulis*, con excepción de las raíces, se ha encontrado la presencia de alca-

loides β -carbonílicos [32]. Este tipo de metabolitos ha demostrado presentar actividad anticancerígena por su capacidad para inhibir las topoisomerasa I y II, la telomerasa y las CDKs (ciclinas dependientes de kinasas), entre otras, lo cual se evidenció cuando este tipo de alcaloides fue evaluado en células HepG2, demostrando su potente capacidad citotóxica sobre este modelo celular de cáncer hepático [33].

Similar a lo reportado por Rowe [34], quienes evaluaron la actividad antitumoral del Jugo de *P. edulis*, podemos señalar que los componentes fitoquímicos presentes en ambos extractos tienen actividad sobre la regulación de la activación de la apoptosis, específicamente sobre la actividad de las caspasas, pero poco es su efecto sobre la reducción en la proliferación celular. Así mismo, en experimentos realizados con polisacáridos extraídos de *P. edulis* se ha demostrado inhibición del crecimiento tumoral, que no está relacionado con la inhibición de la proliferación celular; sin embargo, se observó que esta inhibición estaría relacionada con procesos necróticos, de acuerdo a los análisis histopatológicos [35].

5. CONCLUSIÓN

Este estudio evidenció que tanto los extractos de hojas como el del jugo de *P. edulis* tienen actividad proapoptótica en el modelo *in vitro* de cáncer de hígado evaluado. Además, los resultados sugieren que por su alto contenido de

metabolitos secundarios como polifenoles y polisacáridos, *P. edulis* puede considerarse como una especie promisoría para la búsqueda de compuestos que permitan la quimioprevención de este tipo de cáncer.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos por el apoyo a COL-CIENCIAS, al Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) y a la Universidad del Quindío.

REFERENCIAS

- [1] International Agency For Research On Cancer, GLOBOCAN 2012. Estimated cancer incidence, mortality and prevalence worldwide in 2012, Fecha de acceso: 25/05/2017, <http://globocan.iarc.fr/>.
- [2] Cancer Research UK, Liver Cancer, Fecha de acceso: 25/05/2017, <http://www.cancerresearchuk.org/about-cancer/liver-cancer>
- [3] HB. El-Serag and KL. Rudolph, Hepatocellular Carcinoma: Epidemiology and Molecular Carcinogenesis, *Gastroenterology*, vol. 132, Junio, 2007, pp. 2557–2576.
- [4] A. Forner, M. Reig, M. Varela, M. Burrel, J. Feliu, J. Briceño, et al, Diagnóstico y tratamiento del carcinoma hepatocelular. Actualización del documento de consenso de la AEEH, SEOM, SERAM, SERVEI y SETH, *Med Clin*, vol. 146, Enero, 2016, pp.511.e1-511.e22.
- [5] J. Xia, J. Gao, Y. Inagaki, N. Kokudo, M. Nakata, W. Tang, Flavonoids as potential anti-hepatocellular carcinoma agents: Recent approaches using HepG2 cell line, *Drug Discov Ther*, vol. 7, 2013, pp. 1–8.
- [6] L. Testai, V. Calderone, Nutraceutical value of citrus flavanones and their implications in cardiovascular disease, *Nutrients*, vol. 9, Mayo, 2017, pp:1–13.
- [7] P V. Dlodla, E. Joubert, CJF. Muller, J. Louw, R. Johnson, Hyperglycemia induced oxidative stress and heart disease cardioprotective effects of rooibos flavonoids and phenylpyruvic acid-2-O-β-D-glucoside, *Nutr Metab*, vol. 14, Julio, 2017, pp. 2-18.
- [8] D. Wang, Q. Sun, J. Wu, W. Wang, G. Yao, T. Li, et al, A new Prenylated Flavonoid induces G0/G1 arrest and apoptosis through p38/JNK MAPK pathways in Human Hepatocellular Carcinoma cells. *Sci Rep*, vol. 7, Julio, 2017, pp: 5736-5748.
- [9] KT. Desta, GS. Kim, AMA. El-Aty, S. Raha, MB. Kim, JH. Jeong, et al, Flavone polyphenols dominate in *Thymus schimperi* Ronniger: LC–ESI–MS/MS characterization and study of anti-proliferative effects of plant extract on AGS and HepG2 cancer cells, *J Chromatogr B Anal Technol Biomed Life Sci*, vol. 1053, Marzo, 2017, pp:1–8.
- [10] JO. Olugbami, R. Damoiseaux, B. France, EM. Onibiyo, MA. Gbadegesin, S. Sharma, et al, A comparative assessment of antiproliferative properties of resveratrol and ethanol leaf extract of *Anogeissus leiocarpus* (DC) Guill and Perr against HepG2 hepatocarcinoma cells, *BMC Complement Altern Med*, vol. 17, Agosto, 2017, pp: 381-392.
- [11] JA. Castro, CG. Neves, ON. de Jesus, EJ. de Oliveira, Definition of morpho-agronomic descriptors for the characterization of yellow passion fruit, *Sci Hortic*, vol. 145, Julio, 2012, pp: 17–22.
- [12] K. Dhawan, S. Dhawan, A. Sharma, *Passiflora*: A review update. *J Ethnopharmacol*, vol. 94, Junio, 2004, pp: 1–23.
- [13] A. Es, SP. Parayil, AR. Raju, B. Sathian, V. Udayan, A study on the medicinal value and distribution of climbers of Nattika, India, *Asia Pacific J Environ Ecol Sustain Dev*, vol. 1, Enero, 2013, pp:36–9.
- [14] J. Karunyal, B. Andrews, Traditional medicinal plant wealth of Pachalur and Periyur hamlets Dindigul district, Tamil Nadu, *Indian J Tradit Knowl*, vol. 9, Abril, 2010, pp: 264–70.
- [15] L. Puricelli, I. Dell'Aica, L. Sartor, S. Garbisa, R. Caniato, Preliminary evaluation of inhibition of matrix-metalloprotease MMP-2 and MMP-9 by *Passiflora edulis* and *P. foetida* aqueous extracts, *Fitoterapia*, vol. 74, Abril, 2003, pp: 302–304.

- [16] J. Aguillón, ME. Maldonado, N. Loango, SS. Arango, Antioxidant and antiproliferative activity of ethanolic and aqueous extracts from leaves and fruits juice, *Perspect En Nutr Humana*, vol. 15, Enero, 2013, pp: 13–25.
- [17] G. Guha, V. Rajkumar, R. Ashok Kumar, L. Mathew, Therapeutic potential of polar and non-polar extracts of *Cyanthillium cinereum* in vitro, *Evidence-based Complement Altern Med*, Septiembre, 2011, pp: 1-10.
- [18] TA. Ghezzehei, A new method for rapid determination of carbohydrate and total carbon concentrations using UV spectrophotometry, vol. 97, Septiembre, 2013, pp: 253–261.
- [19] V. Ramirez, Actividad anticancerígena de extractos de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) en células de cáncer de colon humano, Tesis de Maestría, Departamento de Biomedicas, Universidad de Antioquia, Medellín, Caolombia, 2015.
- [20] MF. Armentano, F. Bisaccia, R. Miglionico, D. Russo, N. Nolfi, M. Carmosino, et al, Antioxidant and proapoptotic activities of *sclerocarya birrea* [(A. Rich.) Hochst.] methanolic root extract on the hepatocellular carcinoma cell line HepG2, *Biomed Res Int*, Marzo, 2015, pp: 1-11.
- [21] JA. Nazeam, HA. Gad, A. Esmat, El-HM. Hefnawy, A-NB Singab, *Aloe arborescens* Polysaccharides: *In Vitro* Immunomodulation and Potential Cytotoxic Activity, *J Med Food*, vol. 20, Febrero, 2017, pp: 491–501.
- [22] OM. Ahmed, RR. Ahmed, Anti-proliferative and apoptotic efficacies of ulvan polysaccharides against different types of carcinoma cells in vitro and in vivo, *J Cancer Sci Ther*, vol. 6, Junio, 2014, pp: 202–208.
- [23] H. Amawi, CR. Ashby, T. Samuel, R. Peraman, AK. Tiwari, Polyphenolic nutrients in cancer chemoprevention and metastasis: Role of the epithelial-to-mesenchymal (EMT) pathway, *Nutrients*, vol. 9, Agosto, 2017, pp: 911-924.
- [24] V. Curti, A. Di Lorenzo, M. Dacrema, J. Xiao, SM. Nabavi, M. Daglia, In vitro polyphenol effects on apoptosis: an update of literature data. *Semin Cancer Biol*, Agosto, 2017, pp: 1-14.
- [25] H. Zhang and R. Tsao, Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects, *Curr Opin Food Sci*, vol. 8, Febrero, 2016, pp: 33–42.
- [26] N. Kumar, S. Biswas, AE. Mathew, S. Varghese, JE. Mathew, K. Nandakumar, et al, Pro-apoptotic and cytotoxic effects of enriched fraction of *Elytranthe parasitica* (L.) Danser against HepG2 Hepatocellular carcinoma, *BMC Complement Altern Med*, vol. 16, Octubre, 2016, pp: 420, 434.
- [27] V. Ramírez, SS. Arango, D. Uribe, ME. Maldonado, J. Aguillón, Effect of the Ethanolic Extract of *Passiflora edulis* F. *Flavicarpa* Leaves on Viability, Cytotoxicity and Apoptosis of Colon Cancer Cell Lines, *J Chem Pharm Res*, vol. 9, Junio, 2017, pp: 135–139.
- [28] Y. Montoya, P. Orozco, S. Arango, M. Maldonado, J. Aguillón, Evaluación de la actividad citotóxica del extracto acuoso del maracuyá (*Passiflora edulis*) sobre grupos de líneas celulares, *Pan Am Heal Care Exch*. Junio, 2013, pp: 463–467.
- [29] V. Kuete, JK. Dzotam, IK. Voukeng, AG. Fankam, T. Efferth, Cytotoxicity of methanol extracts of *Annona muricata*, *Passiflora edulis* and nine other Cameroonian medicinal plants towards multi-factorial drug-resistant cancer cell lines, *Springerplus*, vol.5, Septiembre, 2016, pp: 1666-1678.
- [30] NS. Ramos, Efeito antitumoral dos extractos hidroalcoólico e supercrítico da semente de *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener (*Passifloraceae*). Tesis de Maestría, Departamento de Post grado en Bioquímica, Universidad Federal de Santa Catarina; Florianópolis, Brasil, 2015.
- [31] W. Shen, C. Chen, Y. Guan, X. Song, Y. Jin, J. Wang, et al, A pumpkin polysaccharide induces apoptosis by inhibiting the JAK2/STAT3 pathway in human hepatoma HepG2 cells, *Int J Biol Macromol*, vol. 104, Junio, 2017, pp: 681–686.
- [32] ML. Zeraik, CAM. Pereira, VG. Zuin, JH. Yariwake, Maracujá: Um alimento funcional?, *Brazilian J Pharmacogn*, vol. 20, Marzo, 2010, pp: 459–471.

- [33] S. Sarkar, P. Pandya, K. Bhadra, Sequence specific binding of beta carboline alkaloid harmalol with deoxyribonucleotides: Binding heterogeneity, conformational, thermodynamic and cytotoxic aspects, PLoS One, vol. 9, Septiembre, 2014, pp: 1–14.
- [34] CA. Rowe, MP. Nantz, C. DeNiera, K. Green, ST. Talcott, SS. Percival, Inhibition of neoplastic transformation of benzo[α]pyrene-treated BALB/c 3T3 murine cells by a phytochemical extract of passionfruit juice. J Med Food, vol. 4, Abril, 2004, pp: 402–407.
- [36] DC. Silva, ALP. Freitas, FCN. Barros, K. Lins, AP. Alves, NM. Alencar, et al, Polysaccharide isolated from *Passiflora edulis*: Characterization and antitumor properties. Carbohydr Polym, vol. 87, Julio, 2012, pp: 139–145.

**SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
PARA LA INFORMACIÓN
Y LAS TELECOMUNICACIONES**

Design and benefits of a psychometric assessment tool using Visual Basic For Application

Diseño y beneficios de una herramienta de evaluación psicométrica utilizando Visual Basic For Application

J. Ocampo¹, J. Pulupa², A. Knezevich³

Abstract: *Psychometric assessments play a crucial role in vocational guidance. Previous research suggests that there is a deficit in Ecuador in this regard. Other research evidences that ICT integration into such processes may contribute to the solution of the deficit. Visual Basic for Application is a programming language used by several disciplines, suggesting that its usefulness can be extended to the psychometric field. The purpose of this study is to design a psychometric assessment tool for vocational guidance using Visual Basic for Application to identify its benefits. For this, the case of the Psychology Laboratory of the Catholic University of Santiago de Guayaquil was taken. This research adheres to the research-action methodology and is of exploratory nature. We interviewed the responsible authority and considering the data obtained, we designed a psychometric evaluation tool using Visual Basic for Applications. The results show that the tool presents advantages over the traditional procedure such as reducing the time wasted and margin of human error in the scoring process and the consumption of paper supplies. The research presented invites to approach the study of Information and Communication Technologies in vocational guidance with the objective of providing practical solutions that respond to the needs of the Ecuadorian context.*

Keywords: *psychometric evaluation, vocational guidance, Information and Communication Technologies, visual basic for application*

Resumen: Las evaluaciones psicométricas cumplen un rol crucial en la orientación vocacional. Investigaciones previas sugieren que en Ecuador existe un déficit en este aspecto. Otras investigaciones sugieren que la integración de TIC a dichos procesos podría aportar a la solución del déficit. *Visual Basic for Application* es un lenguaje de programación empleado por varias disciplinas, sugiriendo que su utilidad puede extenderse al ámbito psicométrico. El objetivo de este estudio es diseñar una herramienta de evaluación psicométrica para orientación vocacional utilizando *Visual Basic for Application* con el fin de identificar sus beneficios. Para esto, se tomó el caso del Laboratorio de Psicología de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Esta investigación se adhiere a la metodología investigación-acción y es de alcance exploratorio. Se entrevistó a la autoridad responsable y considerando los datos obtenidos, se diseñó una herramienta de evaluación psicométrica utilizando *Visual Basic for Applications*. Los resultados demuestran que la herramienta presenta ventajas con respecto al procedimiento tradicional como reducir el tiempo

- 1 Juan Carlos Ocampo Alvarado, estudiante de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, Ecuador, juan.ocampo01@cu.ucsg.edu.ec
- 2 Joyce Stephanie Pulupa Águila, estudiante de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, Ecuador, joyce.pulupa@cu.ucsg.edu.ec
- 3 Alba Teresa Knezevich Palacios, estudiante de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, Ecuador, alba.knezevich@cu.ucsg.edu.ec

empleado y margen de error humano en el proceso de calificación y el consumo de papelería. La investigación presentada invita a abordar el estudio de las Tecnologías de la Información y Comunicación en la orientación vocacional con el objetivo

de aportar soluciones prácticas que respondan a las necesidades del contexto ecuatoriano.

Palabras clave: evaluación psicométrica, orientación vocacional, Tecnologías de la Información y Comunicación, visual basic for application.

1. INTRODUCCIÓN

La elección de carrera es un momento de cardinal importancia que no sólo repercute en la vida del individuo, sino que impacta a la comunidad. No obstante, son muchos los elementos que se interponen y dificultan una elección adecuada [1]. En respuesta a ello, a principios del siglo XX surge la orientación vocacional, definida como las acciones de acompañamiento y asesoramiento destinadas a que el sujeto tome una decisión vocacional idónea [2], [3].

1.1 La evaluación psicométrica

El conocimiento de las aptitudes, intereses y rasgos propios, o autoconocimiento, sería un elemento crucial en una elección vocacional acertada [3], [4]. Para esto, la orientación vocacional incorpora a su praxis las evaluaciones psicométricas, que son técnicas estandarizadas para medir propiedades mentales y describirlas en categorías o puntuaciones [5].

A breves rasgos, el sujeto es presentado con un estímulo (por ejemplo, una pregunta), este manifiesta una conducta observable (la respuesta a la pregunta) las cuales son registradas. El procesamiento de los datos obtenidos (todas las respuestas) permite medir un atributo mental (como la inteligencia). Generalmente, dichos estímulos están conteni-

dos en un cuadernillo de estímulos. Las conductas observables son registradas en hojas de respuesta y el procesamiento es realizado por un profesional del área de psicología.

1.2 Las TIC y la orientación vocacional en Ecuador

En Ecuador, los llamados a brindar orientación vocacional son los Departamentos de Consejería Estudiantil o DECE [6]. Sin embargo, [7] y [8] sugieren que existe un déficit en este aspecto. Investigaciones previas señalan que este sería el caso en otros países de América Latina, citando como principales causas la falta de orientadores que cubran la demanda, las limitaciones de tiempo y, en especial, la falta de recursos económicos [9], [10].

La aplicación de TIC en los procesos de orientación vocacional ha demostrado ser beneficiosa, pudiendo ayudar en tareas mecánicas, reducir los costos operativos, habilitar una interacción sin constricciones espacio-temporales, entre otros [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]. Esto sugiere que podría aportar a la solución del déficit en Ecuador. A pesar de ello, no han surgido propuestas locales que busquen integrar las nuevas tecnologías en los procesos orientativos.

En este sentido, el componente *Visual Basic for Application* (en adelante, VBA) de Microsoft Excel ofrece una opción prometedora. Este es un lenguaje de programación que permite extender y mejorar las funciones de Excel, como el procesamiento de datos [23]. Es ampliamente utilizado en diversas áreas como la geomecánica, nutrición, ingeniería civil, física, entre otros [24], [25], [26]. Estos resultados sugieren que su utilidad puede ser extendida al ámbito psicométrico.

Con base en lo presentado, el objetivo de esta investigación es diseñar una herramienta de evaluación psicométrica para orientación vocacional utilizando *Visual Basic for Application* con el fin de identificar sus beneficios en el contexto dado. Para esto, se tomó el caso del Laboratorio de Psicología de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (en adelante UCSG).

2. MÉTODOS

El estudio presente se adhiere a la metodología investigación-acción que, como plantea [27], es un estudio que aspira a vincular el enfoque experimental y el abordaje de una problemática social, logrando simultáneamente avances teóricos y resultados prácticos. Por lo tanto, el enfoque planteado es mixto, incorporando técnicas cualitativas y cuantitativas. El alcance del estudio es exploratorio, puesto que examina una problemática poco estudiada en este contexto particular [28].

2.1 Investigación preliminar

Previo al diseño de la herramienta, se realizó una entrevista semiestructurada a la autoridad responsable del Laboratorio de Psicología de la UCSG. Como explica [29], esta técnica permite comprender profundamente los dilemas que enfrenta un actor social o en este caso, la institución. La finalidad de la entrevista era entender el proceso de evaluación psicométrica llevado a cabo por dicho departamento.

De lo recabado, en la UCSG es requisito de toda carrera de pregrado haber recibido orientación vocacional por parte del Laboratorio de Psicología. Dicho proceso consta de seis evaluaciones psicométricas, realizadas en sesiones grupales y presididas por un aplicador. Finalizada la sesión, se procede a la calificación de las evaluaciones por medio de un software de calificación, el cual requiere la digitación manual de las respuestas. La devolución de los resultados puede tomar de 3 a 5 días laborales.

En el año lectivo 2016-2017, se evaluó a 3,837 personas, se realizaron un promedio de 76 sesiones grupales, se invirtió al menos 255 horas en el proceso de calificación y se utilizó al menos 11,511 hojas o insumos no reciclables, sin contar con el desgaste gradual de los insumos reciclables. La Tabla 1 resume los datos obtenidos del Laboratorio de Psicología de la UCSG.

Tabla 1. Datos obtenidos del Laboratorio de Psicología, UCSG

(a) Promedio de personas por sesión	(b) 50 personas
(c) Tiempo promedio por sesión	(d) 4 horas
(e) Insumos reutilizables entregados por persona	(f) 105 hojas
(g) Insumos no reutilizables entregados por persona	(h) 3 hojas
(i) Tiempo promedio de calificación por persona	(j) 4 minutos

Fuente: Elaboración propia

Las debilidades encontradas en la entrevista concuerdan con aquellas citadas anteriormente: dificultad para cubrir la demanda, restricciones económicas y falta de tiempo y talento humano. Además, se identificó una nueva problemática: el impacto medioambiental, medible a partir de la cantidad de hojas consumidas. Estas fueron consideradas para el posterior diseño de la herramienta.

2.2 Diseño de la herramienta

El lenguaje de programación VBA permite la creación de formularios interactivos integrados en Microsoft Excel. Estos harían las veces de cuadernillo de estímulos y hoja de respuestas, conteniendo todos los ítems de la prueba y

permitiendo registrar las respuestas del evaluado. Dicho registro sería procesado por Microsoft Excel, de forma que la puntuación de la prueba sea automática e inmediata.

Debido a la política interna del Laboratorio de Psicología, no fue posible adquirir y adaptar las evaluaciones psicométricas utilizadas por la institución. Por lo tanto, se seleccionaron dos pruebas estandarizadas bajo un criterio de similitud en cuanto a: i) variable a medir; ii) lógica de administración y iii) algoritmo de calificación. Las pruebas seleccionadas fueron la Escala de Aptitudes DAS y el Inventario de Intereses de Kuder.

3. RESULTADOS

A continuación se describen los resultados obtenidos. Utilizando una plantilla habilitada para macros en Microsoft Excel, se accede directamente a un programa que consta de cuatro formularios. El primer formulario corresponde a la bienvenida e introducción a

la herramienta; el segundo recoge los datos personales del evaluado; el tercero corresponde a la Escala de Actitudes DAS; el cuarto corresponde al Inventario de Intereses de Kuder. La Figura 1 muestra los formularios interactivos creados utilizando VBA.

Figura 1. Formularios interactivos utilizando VBA

The figure displays four screenshots of interactive forms created using Visual Basic for Applications (VBA). The first form, titled 'Bienvenido', provides instructions for the user and includes 'Empezar' and 'Cancelar' buttons. The second form, 'Datos personales', collects personal information such as name, address, and contact details, with 'Siguiete' and 'Cancelar' buttons. The third form, 'DAS - Escala de actitudes', presents attitude statements for evaluation using radio buttons. The fourth form, 'KUDER - Inventario de intereses vocacionales', lists various activities for which the user indicates interest or preference using 'SI' (Yes) or 'NO' (No) responses.

Fuente: Elaboración propia

La herramienta de evaluación psicométrica presenta ventajas con respecto al procedimiento tradicional de administración y calificación de pruebas. Primeramente, reduce en un 100% el tiempo de calificación invertido por prueba. También reduce en un 100% la necesi-

dad de insumos no reutilizables y en un 66% la cantidad de insumos reutilizables entregados por persona. Por último, elimina el margen de error humano. La Tabla 2 resume los beneficios cuantitativos encontrados en el uso de la herramienta de evaluación psicométrica.

Tabla 2. Beneficios de la herramienta de evaluación psicométrica utilizando Visual Basic for Application

(a) Tiempo promedio de calificación por persona	(b) 0 minutos
(c) Insumos no reutilizables entregados por persona	(d) 0 hojas
(e) Insumos reutilizables entregados por persona	(f) 1 hoja

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los beneficios de carácter cualitativo encontrados son los siguientes. La digitalización de los insu-

mos elimina la necesidad de transportación y almacenamiento de los mismos, facilitando la logística de operación.

También permite la modificación de los ítems, facilitando la personalización de las pruebas o contextualización de las mismas. Por último, el entorno tecnoló-

gico puede resultar estimulante para los usuarios, tomando en cuenta que, al ser nativos digitales, están familiarizados con estas herramientas.

4. DISCUSIÓN

La integración de medios tecnológicos en la evaluación psicométrica resultó beneficiosa en el caso presentado, con resultados acordes a investigaciones previas sobre TIC y orientación vocacional. La herramienta diseñada permitió, en síntesis, optimizar los recursos utilizados en el proceso psicométrico llevado a cabo por el Laboratorio de Psicología.

El diseño de la herramienta utilizando el componente VBA de Microsoft Excel demostró que su utilidad puede ser efectivamente extendida al ámbito psicométrico, lo que abre un abanico de posibilidades para la investigación y aplicación de dicho lenguaje de programación en la labor de orientación vocacional y en última estancia, el ámbito psicológico.

Entre las limitaciones del presente estudio se reconocen las siguientes: no se realizaron pruebas formales de la herramienta en una muestra poblacional adecuada y representativa, lo que hubiera permitido un estudio cuantitativo sobre eficacia percibida, facilidad de uso, etc; y al ser de carácter exploratorio, los resultados de ninguna manera son representativos.

Además, cualquier propuesta desarrollada en Ecuador debe considerar

que hasta el 2016, en el área urbana el 40.5% de la población no utilizaban computadoras y el 36.2% no había utilizado el internet en los últimos 12 meses [30]. Por lo tanto, una medida de abordaje tecnológico dejaría de lado a un porcentaje significativo de la población. Es necesaria mayor investigación al respecto.

Por otra parte, siguiendo la lógica de [31], el éxito de una herramienta tecnológica, incluso de eficacia comprobada, depende gravemente de la aceptación de sus usuarios tentativos. En otras palabras, es imperativo entender los factores que dirigen la adopción tecnológica. Para ello, han surgido varias teorías que aspiran a explicar o predecir la adopción tecnológica [32].

Una de ellas es la Teoría de la difusión de innovación, la cual pretende explicar la probabilidad de expansión y utilización de una determinada tecnología [33]. Otra es el Modelo de Aceptación Tecnológica y posteriormente, la Teoría Unificado de Aceptación y Uso de Tecnología, que pretenden explicar los factores que intervienen en el uso de tecnología [34], [35]. Se recomienda que dichas teorías sean tomadas en cuenta para futuras líneas de investigación.

5. CONCLUSIONES

Tras diseñar una herramienta de evaluación psicométrica utilizando el componente VBA de Microsoft Excel que responda a las necesidades particulares del Laboratorio de Psicología de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se identificaron una serie de beneficios. La herramienta reduce significativamente el tiempo empleado y margen de error humano en el proceso de calificación y el consumo de pape-

lería. Además, elimina la necesidad de transportación y almacenamiento de dichos insumos, permite la modificación de las pruebas y puede ser estimulante para el usuario. La investigación presentada invita a abordar el estudio de las TIC en la orientación vocacional con el objetivo de aportar soluciones prácticas que respondan a las necesidades del contexto ecuatoriano.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente artículo agradecen la buena disposición y colaboración de quienes conforman el Laboratorio de Psicología y la Facultad de

Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

REFERENCIAS

- [1] M. Montero, Elección de carrera profesional: Visiones, promesas y desafíos, Ciudad Juárez: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, 2000.
- [2] Ministerio de Educación del Ecuador, Manual de orientación vocacional y profesional para los Departamentos de Consejería Estudiantil, Quito: Ministerio de Educación del Ecuador, 2015.
- [3] N. Pérez, G. Filella y R. Bisquerra, "A los 100 años de la orientación: de la orientación profesional a la orientación psicopedagógica," *Revista Curriculum*, pp. v. 22, pp. 55-71, 2009.
- [4] B. Vicente, E. Vicente, M. Rocha y M. Costa, "Orientación y formación vocacional hacia la carrera de Medicina," *MediSur*, pp. pp. 267 - 281, 2014.
- [5] R. Gregory, Pruebas psicológicas: Historia, principios y aplicaciones, México: Pearson Educación, 2012.
- [6] Ministerio de Educación del Ecuador, Acuerdo Nro. MINEDUC-ME-2016-00046-A, Quito: Ministerio de Educación del Ecuador, 2016.
- [7] Redacción Sociedad, "El 26% de los universitarios se retiró en los primeros años," *Diario EL COMERCIO*, 2017.
- [8] C. Serrano, "Los Millenials buscan más de una profesión para estudiar," *Revista VISTAZO*, pp. pp. 4-6, 9 Marzo 2017.
- [9] G. Mora, Condiciones del contexto y de la orientación vocacional para la elección profesional y laboral en los colegios técnicos del cantón de Pérez Zeledón (Tesis para optar por el grado de doctor), San José: Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, 2011.

- [10] J. González, "La Orientación Profesional en América Latina. Fortalezas, Debilidades y Oportunidades," *Revista Mexicana de Orientación Educativa*, pp. 3(13), pp. 44 - 49, 2007.
- [11] A. Pantoja y T. Campoy, "El orientador ante las nuevas tecnologías," *Ágora Digital*, pp. 2, 100-111, 2001.
- [12] F. Rivas, M. J. Tormos y B. Martínez, "Tecnología informática en asesoramiento vocacional," *Psicothema*, pp. 17(3), 382-389, 2005.
- [13] J. Sanz, *Nuevas Tecnologías Aplicadas al Asesoramiento Vocacional. Diseño de Software y Servicios de Apoyo Telemático*, Castellón: Universitat de Jaume, 2005.
- [14] L. Sobrado, C. Ceinos y R. García, "Utilización de las TIC en orientación profesional: Experiencias innovadoras," *Revista Mexicana de Orientación Educativa*, pp. 9(23), 2-10, 2012.
- [15] P. Muñoz-Carril y M. González-Sanmamed, "Posibilidades de la web 2.0 en Orientación Educativa: Un estudio exploratorio sobre su presencia en las web de los Departamentos de Orientación de Secundaria," *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, pp. 25(3), 36-55, 2014.
- [16] P. Muñoz-Carril y M. González-Sanmamed, "Utilización de las TIC en orientación educativa: Un análisis de las plataformas web en los departamentos de orientación de secundaria," *Revista Complutense de Educación*, pp. 26(2), 447-465, 2015.
- [17] P. Quattrocchi, A. García y V. Schittner, "Aprender a hacer orientación usando TIC. Aprender a utilizar TIC para orientación," de *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*, Buenos Aires, 2014.
- [18] C. Romero y M. Montilla, "La utilización de las TIC en la orientación educativa: un estudio exploratorio sobre la situación actual de uso y formación entre los profesionales de la orientación," *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, pp. 26(3), pp. 78 - 95, 2015.
- [19] M. Sánchez-Martín, R. Torinos y T. Izquierdo-Rus, "Análisis de la implementación y uso de las webs para la la orientación educativa en secundaria," *Aula de Encuentro*, pp. 19(1), pp. 5-23., 2017.
- [20] Á. Hernando, "Una WebQuest para la orientación vocacional y profesional en Bachillerato," *Revista Científica de Comunicación y Educación*, pp. 16(32), 215-221, 2009.
- [21] C. Ceinos, "Diagnóstico de las competencias de los orientadores laborales en el uso de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación," *Universidad de Santiago de Compostela (Tesis Doctoral)*, 2008.
- [22] C. Ocampo, M. Caeiro y J. Sarmiento, "Las TIC y la función tutorial en la etapa de Educación Infantil: La opinión del profesorado de centros públicos del sur de Galicia," *Revista española de Orientación y Psicopedagogía*, pp. 23(2), 60-78, 2012.
- [23] W. Yan y H. Hongliang, "Hydropower Computation Using Visual Basic for Application Programming," *Physics Procedia*, pp. 24, pp. 37 - 43, 2012.
- [24] J. Zhou y X. Li, "GeoPlot: An Excel VBA program for geochemical data plotting," *Computers & Geosciences*, pp. 32(4), pp. 554-560, 2006.
- [25] A. Eissa, "Excel Visual Basic Application 'VBA' for Beam problems," *Red Sea University Journal of Basic and Applied Science*, vol. 2, n° 1, pp. 1-8, 2017.
- [26] S. Rossato, T. Fung y M. Rodrigues, "A Data Entry System for Dietary Surveys Based on Visual Basic for Applications Programming," *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, pp. 117(8), pp. 1165-1169, 2017.
- [27] F. Murillo, S. Rodríguez, N. Herráiz, M. Prieto, M. Martínez, M. Picazo, I. Castro y S. Bernal, "Investigación Acción," de *Métodos de investigación en Educación Especial*, Madrid, Universidad Autónoma de Madrid, 2010.
- [28] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, *Metodología de la investigación: Quinta Edición*, México: McGraw-Hill, 2010.
- [29] P. Robertt y P. Lisdero, "Epistemología y metodología de la investigación sociológica: reflexiones críticas de nuestras prácticas de investigación," *Sociologías*, pp. 18(41), pp. 54-83, 2016.

- [30] Instituto nacional de estadísticas y censos, “Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC’S) 2016,” Instituto Nacional de estadísticas y censos, Quito, 2016.
- [31] B. Šumak, M. Heričko, M. Pušnik y G. Polančič, “Factors Affecting Acceptance and Use of Moodle: An Empirical Study Based on TAM,” *Informatica*, vol. 35, pp. pp. 91-100, 2011.
- [32] S. Sieber y J. Valor, Criterios de adopción de las tecnologías de información y comunicación, e-business Center, PricewaterhouseCoopers & IESE, 2008.
- [33] E. Rogers, Diffusion of innovation, Nueva York: The Free Press, 1983.
- [34] F. Davis, A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results, Massachusetts: Sloan School of Management, 1986.
- [35] V. Venkatesh, M. Morris, G. Davis y F. Davis, “User acceptance of information technology: Toward a unified view,” *MIS Quarterly*, vol. 27, n° 3, pp. pp. 425-478, 2003.
- [36] Ministerio de Educación del Ecuador, Modelo de Funcionamiento de los Departamentos de Consejería Estudiantil, Quito, Ecuador: Ministerio de Educación del Ecuador, 2016.
- [37] S. Sami, S. Nurul y W. Hidayat, “Interactive Learning Media for Lenses and Their Applications Using Macro Visual Basic in Microsoft PowerPoint,” *Journal of Physics: Conference Series*, pp. pp. 1 - 8, 2016.

Potential use of the standard IEEE 802.11af in the spectrum for the VHF and UHF bands in urban areas

Uso potencial del estándar IEEE 802.11af en el espectro radioeléctrico para las bandas VHF y UHF en zonas urbanas

J. Jiménez⁴, O. Martínez⁵, J. Ribadeneira⁶, S. Manzano⁷

Abstract: *For the present investigation the radio spectrum was analyzed and evaluated in the frequency bands assigned to television in VHF and UHF by means of an algorithm realized in radio defined by software in NI USRP 2920 in the urban area of Ambato canton. This research began with discovering the standard IEEE 802.11af infrastructure. This is a part of a set of standards that can work on the TVWS that are based on devices that need a GDB Geo-location database. To find the TVWS, the evaluation of the radio-electric spectrum was carried out by applying the method of detecting energy and applied directly on the video carrier a 1.25MHz from the bottom of the analog television signal. The algorithm was applied through a research field for each of the villages that are part of the urban area with reference to Mount Pilishurco that is the one with the highest concentration of repeating antennas for television transmissions. As a conclusion, the algorithm find blanks with an average of 41.53% of available bandwidth to implement the standard.*

Keywords: georeferenced database, TV white spaces, IEEE 802.11af standard, blank space map, universal software peripheral radio (USRP).

Resumen: En esta investigación se analizó y evaluó el espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencia asignadas a Televisión en VHF y UHF mediante un algoritmo realizado en radio definido por software en la NI USRP 2920 de National Instruments, en la zona Urbana del Cantón Ambato. Esta investigación empieza por describir la infraestructura del estándar IEEE 802.af, que forma parte de un grupo de estándares que pueden trabajar sobre los espacios de televisión en blanco TVWS, basados en dispositivos que necesitan de una base de datos de Geolocalización GDB. Para encontrar los espacios de TV en blanco se realizó la evaluación del espectro mediante el método de detección de energía, enfocado a detectar la presencia de usuarios primarios, y aplicado directamente sobre la portadora de video de la señal de televisión analógica. Como conclusión el algoritmo logró encontrar espacios en blanco con un promedio del 41,53% de ancho de banda disponible para implementar el estándar. Se recomienda que los resultados pueden ser utilizados como base para la publicación de mapas de espacios en blanco WSM.

Palabras clave: comunicaciones inalámbricas, base de datos georeferenciada, espacios de televisión en blanco, estándar IEEE 802.11af, radio periférico de software universal.

4 Jorge Jiménez Moposita, M.Sc. Analista TI, Dirección de Tecnología de la Información y Comunicación, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, jjimenez@uta.edu.ec

5 Osvaldo Martínez Guashima, M.Sc. Docente Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, geovanny.martinez@epoch.edu.ec

6 Ph.D. Jefferson Ribadeneira Ramírez, Docente Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, jefferson.ribadeneira@epoch.edu.ec

7 Santiago Manzano Villafuerte, M.Sc. Docente Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, victorsmanzano@uta.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Las diferentes enmiendas del estándar IEEE 802.11 han permitido que el rendimiento mejore significativamente.

Desde sus inicios los grupos de trabajo del IEEE, comenzaron a realizar las diferentes tareas que caracterizaban a cada uno en el desarrollo específico de las capas física PHY y de enlace MAC. La versión original del estándar IEEE 802.11 apareció en el año 1997 y trabajaba en las bandas de frecuencia de 2,4 GHz y 5 GHz en las técnicas FHSS y DSSS. Desde entonces se ha ampliado a 900MHz, 3.7GHz y 60GHz, así como para el uso del espectro de televisión con espacios en blanco en UHF- VHF, y con más técnicas como OFDM y la aplicación de técnicas de radio cognitiva.

El estándar IEEE 802.11af comenzó a ser trabajado en un grupo dedicado a partir del año 2010, impulsado por el progreso que las regulaciones sobre los espacios de televisión en blanco TVWS (TV White Spaces) fueron tomadas en cuenta por la FCC (Federal Communications Commission) y que contemplaba la gestión del espectro.

En cuanto a los espacios en blanco TVWS, la FCC es la que contempla la gestión del espectro desde el 2004 con el propósito de garantizar la operación sin licencia en las bandas del espectro de televisión. A través de varios memo-

rándums dentro de la industria, la FCC publicó normas y reglas que permitieron la utilización de las bandas en VHF y UHF para nuevos e innovadores productos y servicios de banda ancha en los espacios en blanco.

El documento FCC-12-36A1 de la FCC describe el tercer memorándum donde especifica estas reglas para que los dispositivos puedan trabajar en los TVWS, siendo las más nombradas las 47 C.F.R. § 15.711, 47 C.F.R. § 15.703 y 47 C.F.R. § 15.709.

El estándar IEEE802.11af ofrece modificaciones a las capas PHY y MAC, con una arquitectura común para que un dispositivo de espacio en blanco WSD (White Space Device) pueda trabajar sobre los TVWS sin que provoque ningún tipo de interferencia sobre otros usuarios.

Este trabajo plantea el análisis y evaluación del espectro radioeléctrico específicamente en las bandas de televisión en las frecuencias de UHF y VHF para la zona urbana del cantón Ambato, para llegar a conocer e identificar el comportamiento temporal que indique los espacios TVWS disponibles para el uso potencial del estándar IEEE 802.11af, para lo cual se describe todos los componentes que forman parte de la arquitectura del estándar y los diferentes métodos del censado del espectro para encontrar dichos los espacios.

2. DESARROLLO

El Estándar 802.11af es una modificación al estándar IEEE 802.11ac, que pasa a ser de alto rendimiento y que trabaja sobre los espacios en blanco del espectro de frecuencia asignado a los canales de TV. El estándar 802.11af especifica todas las modificaciones a las capas PHY y MAC del estándar 802.11 para que se cumpla todos los aspectos técnicos y legales con propósito de acceder y convivir sobre los recursos de espectro que estén en blanco o libres y que se pueden encontrar, asignados a las frecuencias en los cuales la televisión realiza sus transmisiones.

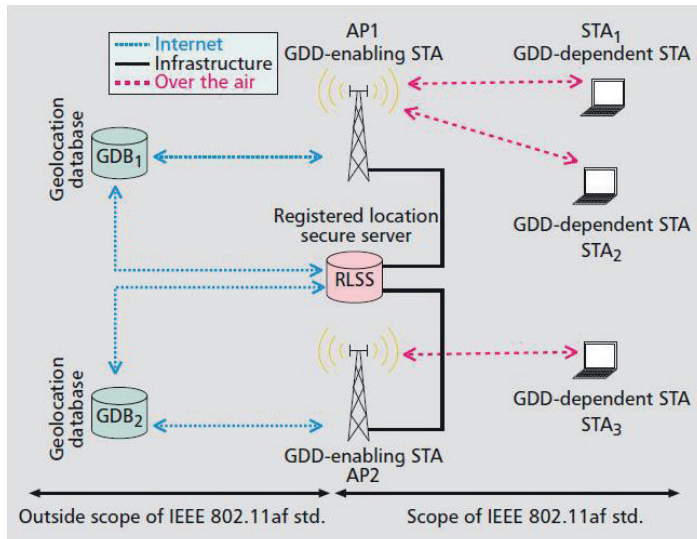
En el espectro de frecuencias en los rangos asignados para las bandas de televisión, los espacios en blanco se les conoce como TVWS y un dispositivo que trabaja sobre estos espacios sin causar ningún tipo de interferencia es

conocido como dispositivo de espacio en blanco WSD.

Un WSD debe ser capaz de trabajar sobre un espectro desocupado sin interferir con las frecuencias adyacentes, además posee características dinámicas en cuanto a la ubicación, capacidad, ancho de canal, conocimiento de bases de datos con georeferenciación aprobadas y disponible de forma temporizada, teniendo la capacidad de terminar la transmisión cuando dicha base le informe que debe hacerlo.

Estas bases de datos georeferenciadas son los elementos principales que distingan al estándar 802.11af de los demás estándares. Son las denominadas GDB y junto con los dispositivos WSD forman la estructura del estándar como muestra la Figura 1.

Figura 1. Arquitectura del estándar IEEE 802.11af



Una Base de datos de Geolocalización GDB (Geolocation Database), indica con ubicación geográfica las frecuencias y parámetros permitidos para que un WSD pueda trabajar sobre el espectro donde existen TVWS en el rango de frecuencias correspondientes a los asignados para las bandas de TV en UHF y VHF. Estas bases de datos deben ser certificadas por cada ente regulador del país o la región donde se vaya a utilizar los TVWS. Para el caso de Estados Unidos es la Oficina de Ingeniería y Tecnología (OET) de la FCC.

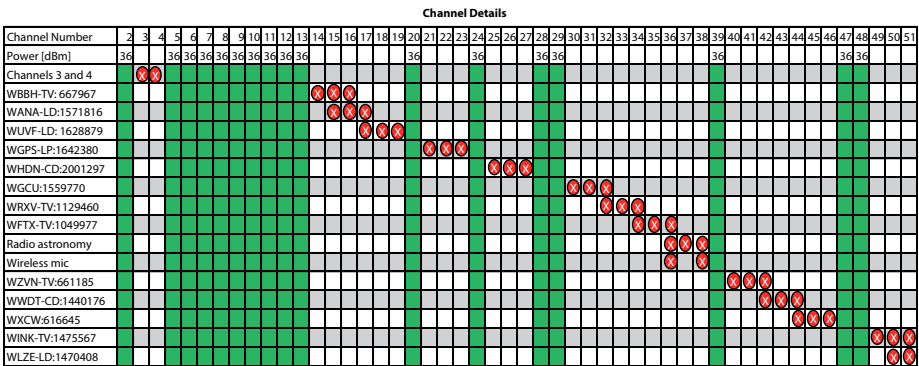
La información que contienen estas bases es recopilada de distintas maneras. Una es a través del registro que se debe efectuar sobre los denominados administradores de bases de datos de TVWS y cuyo permiso lo otorga la OET luego de cumplir con todos los requisitos y según los estipulan las reglas 47 C.F.R. § 15.701 et seq.

Los administradores de estas bases de datos que actualmente existen son:

Google Spectrum Database, Base de datos White Space de Spectrum Bridge Inc., Portal de espacios en blanco de Key Bridge LLC y Base de datos de espacios en blanco de Iconectiv, antiguamente Telcordia Interconnection Solution.

Un mapa de espacios en blanco WSM (White Space Map) es la lista de canales que se encuentran disponibles plenamente identificados con sus valores respectivos de potencia y que son proporcionados por las diferentes GDB certificadas. La Figura 2 indica una parte de un WSM, específicamente para 7 dispositivos en 29 canales. Es necesario que cualquier dispositivo registre su información para que sea utilizada por los WSD a través de un WSM y mantener una GDB actualizada protegiendo a los operadores que tienen licencia, que pagaron por utilizar dichos espacios (especialmente en TV) y aquellos que no tienen licencia, como los propios WSD.

Figura 2. Parte de un WSM de Google, base de datos de espacios en blanco de EEUU para dispositivos fijos



Fuente: [2]

La consulta fue realizada a Google spectrum database para el sitio Cabo Coral (Lat. 26.588125, Long. -81.841248) en el estado de La Florida en Estados Unidos, con una altura de antena de 10m, para un dispositivo fijo con un total de 17 canales libres, un ancho de banda de 102 MHz y que para cada canal libre se puede transmitir una máxima potencia de 4W.

Un WSM debe poseer la siguiente información: La clase de dispositivo (GDD dependiente, GDD habilitador, GDD Access point, etc), un identificador del mapa que indica si es un mapa completo o parcial, el número del canal relacionado con los requerimientos de operación de las bandas especificadas según las entidades reguladoras de cada país, el nivel máximo de potencia también especificado por la entidad reguladora de cada país (ej. FCC), la validación que indica el número de canal disponible con su tiempo válido en minutos para transmitir con un nivel de potencia máximo y el ancho de banda máximo de cada canal.

Si un dispositivo WSD desea entrar en funcionamiento ya como parte del estándar IEEE 802.11af debe realizar la respectiva consulta a través de los componentes que forman parte de la arquitectura (RLSS, GDD, etc.) entonces la base GDB acepta la solicitud de ocupación de espectro enviadas por el dispositivo WSD, devolviendo su respectiva asignación de espectro, su WSM con los parámetros de radio necesarios obligatorios a cumplir por quien solicita, tiempos de ocupación y ubicación geo-

gráfica. Si éste proceso es llevado con éxito se estima entonces que debe haber un resultado de interferencias muy bajo o bien contralado, llegando entonces a habilitar un proceso denominado REM (Radio Environment Mapping), el cual al aplicar técnicas de radio cognitiva va a ser consultado para extraer los respectivos datos. Los WSM se actualizan por un tiempo mínimo de 1 día.

Un servidor seguro de registros de ubicación RLSS (Registered Location Secure Server) es una GDB, pero de tipo local para un número menor de dispositivos STAs agrupados como una BSS (Basic Service Set) o como subredes, asumiendo que cada subred posee un solo AP. Un RLSS puede comunicarse con varias BSS siendo lo fundamental que este servidor distribuya toda la información que una GDB lo hace, es decir los parámetros necesarios de funcionamiento correctamente georeferenciados y con el cumplimiento de los requisitos establecidos por las entidades reguladoras de cada país.

Un RLSS se comunica y accede a una GDB mediante el acceso a internet, alimentando a los WSDs y obteniendo todos los datos para conocer los TVWS e intercambiar todos los WSM que estén actualizados. Puede también comunicarse con otras RLSS o con otras GDBs con el propósito de realizar consultas y actualizar las otras GDBs y no realizar duplicaciones de datos.

Todos los componentes que forman parte de la arquitectura IEEE 802.11af y que para su funcionamiento dependen o están controlados por las GDB o una

RLSS se les denomina entidades dependientes de bases de datos georeferenciadas GDD (Geolocation-Database-Dependent Entities).

La Estación GDD de habilitación (GDD-enabling Station), autoriza y controla el funcionamiento de las estaciones inalámbricas STAs en función de la información que le otorgue una GDB o una RLSS. Esta estación asegura la entrega de los WSM para que una STA que desee utilizar funcione con normalidad.

Esta estación se comunica de forma segura hacia la GDB manteniendo actualizados los WSMs y todos los parámetros que la base requiere, además crea y transmite la señal de verificación de contacto CVS (Contact verification signal) que es enviada hacia la STA que se encuentra dentro de la BSS respectiva. Una señal CVS posee información en la que indica que, si el WSM fue recibido por parte del STA, así como si un STA está dentro del rango de la estación GDD de habilitación, si un WSM es válido para el STA y también comparte la comprobación de canales disponibles. Al hacer referencia a los tipos de WSDs, una estación GDD de habilitación puede ser WSD de tipo fijo o los WSD portátiles de modo II.

La Estación GDD dependiente (GDD-dependent Station), es un dispositivo WSD de tipo portátil modo I, es la estación STA o usuario final y que al ser varios forman una BSS. Su funcionamiento depende de los WSM y de los parámetros que la estación GDD de habilitación le otorgue, comunicándose con ésta mediante comunicación inalámbrica.

El estándar 802.11af describe cuatro tipos de escenarios de funcionamiento de una GDD dependiente en los cuales se puede trabajar en TVWS. En el primer escenario, la estación GDD dependiente y la GDD habilitadora trabajan sobre el mismo canal TVWS.

En el segundo escenario para trabajar en TVWS, el AP no accede directamente a la GDB sino realiza la consulta al RLSS, en este caso el AP pasa a ser una estación GDD dependiente de la respuesta del RLSS y con esta información volverá a ser una estación GDD habilitadora. Una vez que el AP tenga la información necesaria realiza el mismo proceso del escenario 1 hacia la estación cliente o GDD dependiente.

El tercer escenario indica dos BSS cada uno con sus clientes STA y canales TVWS diferentes, un AP que realiza las funciones de estación GDD habilitadora-dependiente, una estación GDD habilitadora y mediante la infraestructura de internet llega a la GDB. Tanto el AP como la estación GDD habilitadora son dispositivos WSD portátiles de modo II.

En el escenario 4 la estación GDD habilitadora y las STA trabajan en las frecuencias ISM y también en los canales de TVWS. Una GDD habilitadora debe tener interfaces para trabajar sobre las frecuencias ISM y enviar señales habilitadoras a las STA en las mismas frecuencias o en canales TVWS. En el otro BSS el AP trabaja en el canal que tiene TVWS junto con sus STA. El AP es de tipo habilitador-dependiente, debido a que habilita a las STA en el TVWS y depende de la estación GDD habilitadora para acceder a la GDB para trabajar en ISM y TVWS.

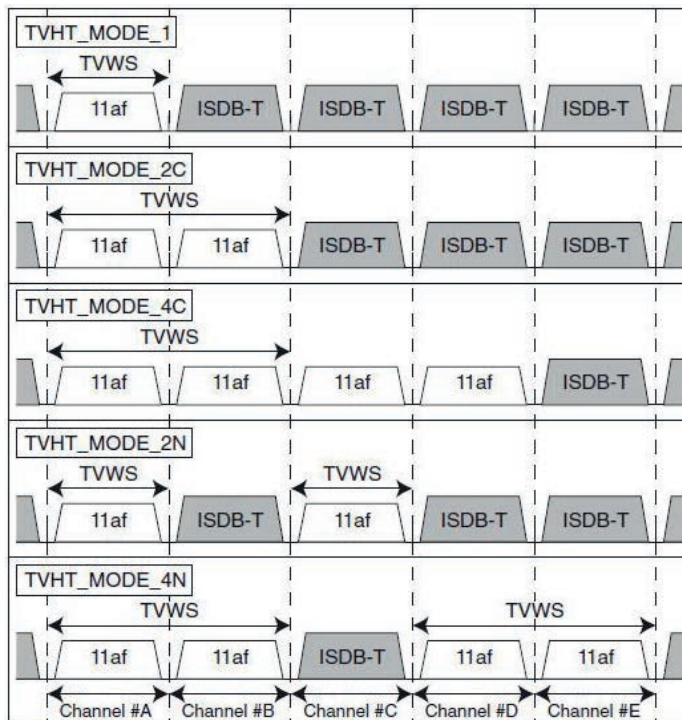
En la BSS que trabaja en ISM, existe escaneo pasivo y activo en las bandas de 2.4Ghz, pero solo de tipo pasivo para los 5Ghz y TVWS. Un GDD habilitador que trabaje con los canales ISM y en TVWS puede realizar la consulta directa a la GDB o si fuere el caso a una RLSS.

En UHF para un dispositivo portátil que puede ser modo I o modo II, donde se considera que la potencia de transmisión es menor a los 100mW, el intervalo de guarda considerado por el estándar es de $6 \mu\text{seg}$, igualmente el ancho de banda efectivo será de $6\text{Mhz} * 128 / 144 = 5.33\text{MHz}$ del total disponible, llegando a tener un espaciamiento de más de 0.275MHz a cada lado.

Para la utilización en varios canales o de tipo multicanal por tratarse de los TVWS no necesariamente existen canales libres que se encuentren de forma continua. Es así que para la canalización del estándar se tiene cinco modos de operación los cuales son aplicables a todos los dominios reguladores (6,7 y 8 MHz).

La Figura 3 muestra estos modos de canalización que un dispositivo con TVHT debe tener la capacidad de realizar, comprendido por los BCU (unidades básicas de canal) continuos o discontinuos con el fin de aumentar la tasa de transmisión y considerando que se puede utilizar MIMO.

Figura 3. Modos de canalización del Estándar IEEE 802.11af



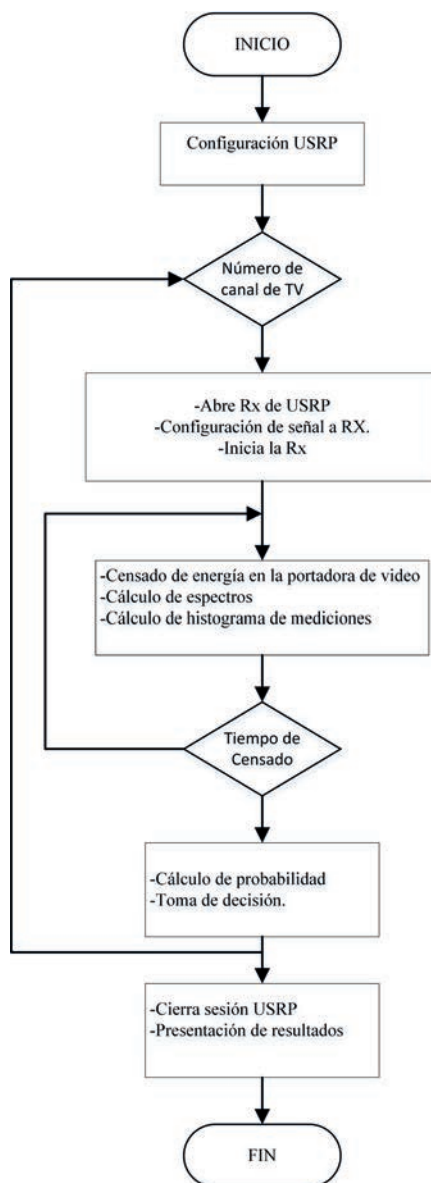
Entonces conocer los espacios en blanco es fundamental para que el estándar potencialmente pueda ser implementado. Para realizar esto es necesario utilizar modelos de acceso dinámico al espectro de tipo Jerárquico que permitan realizar el censo del espectro.

El censo del espectro, para este trabajo, se lo realizó a través de la utilización del método de detección de energía debido a que por ser una de las formas más comunes para detectar espacios en blanco en el espectro, no hace ninguna segregación sobre el tipo de señal que esté presente en el espacio censado, llegando a establecer la presencia o ausencia de un usuario que primordialmente en el caso de aplicar el estándar en estudio obligaría a que la GDD habilitadora no permita el uso del canal ocupado por parte de la STA dependiente.

El método de censo es considerado fácil de implementar y adicionalmente utiliza bajos recursos computacionales, pero se debe tomar muy en cuenta que al ser muy sensible al ruido existente se debe encontrar un umbral que permita tomar una decisión adecuada sobre la presencia o ausencia de un usuario, logrando así disminuir el nivel de probabilidades de falsa alarma.

El algoritmo se basa en el diagrama de flujo que se indica en la Figura 4 y empieza por establecer la conexión y configuración de la USRP con todos los parámetros de recepción. Luego adquiere datos a través de un monitoreo del espectro tipo interactivo, que consiste en tomar continuamente una porción del espectro y continuar midiendo durante un tiempo determinado.

Figura 4. Diagrama de flujo general del algoritmo realizado en USRP



Fuente: Autores

Con los datos correspondientes a las medidas del espectro pasa a tomar la decisión de establecer la presencia o ausencia de un usuario. Posteriormente,

se vuelve a realizar el proceso para cada una de las frecuencias en UHF y VHF para finalmente cerrar la sesión y presentar todos los resultados.

Para el censado del espectro se considera utilizar el valor inicial de cada canal debido a que la función que permite la medición espectral de potencia sumará al valor de frecuencia de inicio un valor de 1.25 MHz para establecer el valor de la frecuencia de portadora de video. Por ejemplo, al tener el canal 2, la frecuencia de canal es 54 MHz, pero al sumarle los 1.25MHz se tendrá la frecuencia correspondiente a la portadora de video que es la frecuencia donde se concentra la mayor cantidad de energía y que será posteriormente medida, es decir $54 \text{ MHz} + 1.25\text{MHz} = 55.25\text{MHz}$.

Las frecuencias de cada canal están especificadas mediante la utilización de una matriz de 14×3 , formado por los valores numéricos correspondientes a cada frecuencia establecida en el cuadro resumen para canalización de bandas, grupos de canales, zonas geográficas y plan de distribución de canales de televisión para la provincia de Tungurahua según lo establece la Resolución No. 1779-CONARTEL-01 (Suplemento del Registro Oficial 335, 29-V-2001) y controlado cada cambio de valor por una función de tipo comparativa como la indicada en la Figura 5, realizado en el diagrama de bloques de Labview.

La función SMT Basic Zoom Power Spectrum permite realizar el cálculo del espectro para el rango de frecuencias indicado. Para el caso del diseño se especifica la frecuencia central y un span que cubra el ancho de banda de todo un canal de TV, por ejemplo, el canal 42, tiene su frecuencia inicial de 638MHz, el span de 12MHz permite calcular el espectro de potencia desde 632 MHz hasta 644MHz y que para fines de esta investigación solo se considera en el siguiente bloque la banda superior entre los 638 y 644 MHz correspondiente al ancho de banda total del canal 42.

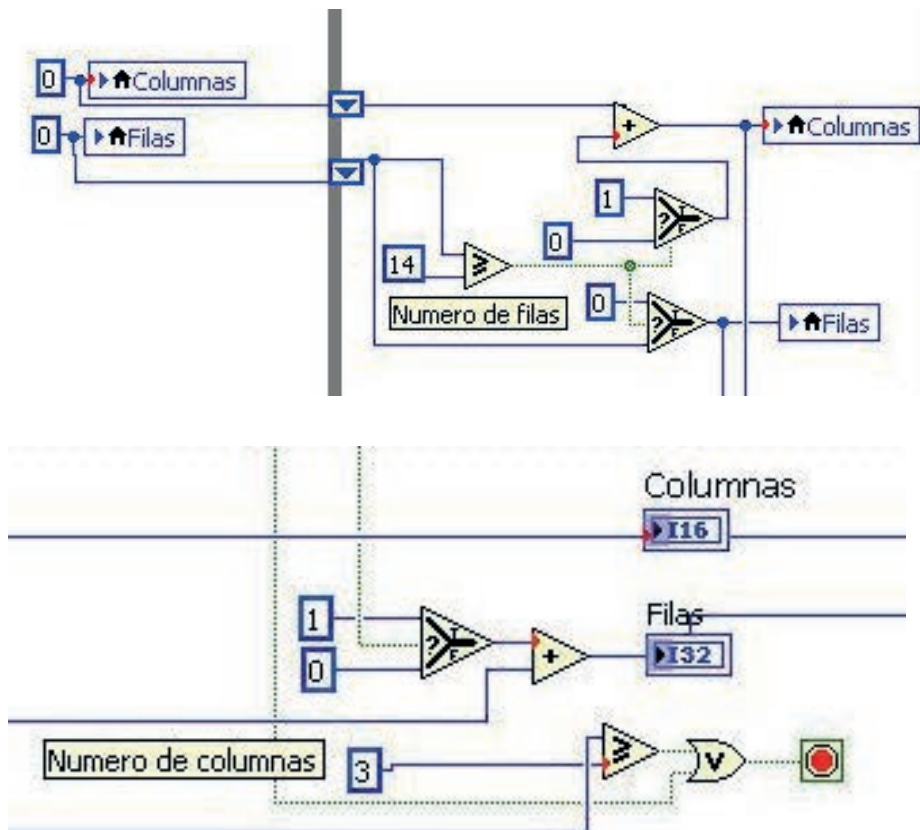
El bloque SMT Power In Band, es una herramienta de cálculo de espectro que permite medir la potencia total en un rango o banda de frecuencias, aplicando métodos de suavizado de la señal tales como el enventanado y relleno de ceros en caso de necesitarlo.

Para realizar dichos cálculos, el bloque internamente utiliza la siguiente ecuación [6]:

$$\text{Power in Band} = \frac{\sum_{f_1}^{f_h} X(f)}{\text{ENBW}} \times \frac{W_{\text{size}}}{\text{FFTsize}} \quad (1)$$

Donde $X(f)$ es la potencia espectral de entrada en V_{rms}^2 , especificado en una frecuencia central, para un ancho de banda en Hz y con los límites f_1 y f_h de la banda de frecuencias respectivamente; ENBW es el ancho de banda equivalente de ruido, W es el tamaño de la ventana y FFT el tamaño de la transformada rápida de Fourier.

Figura 5. Rutina para cambio de valor numérico correspondiente a la matriz de frecuencias de UHF y VHF



Fuente: [11]

En el bloque SMT Power In Band se debe especificar una frecuencia en Hz y el ancho de banda a medir en torno a esa frecuencia central. En la Función SMT Basic Zoom Power Spectrum se consideró un span de 12Mhz con frecuencia central correspondiente a la frecuencia inicial de cada canal para posteriormente solo considerar la banda lateral superior equivalente a los 6MHz de cada canal.

En una señal de TV la portadora de imagen se encuentra ubicada a

1,25MHz desde el lado de banda baja parcial y es la que reúne un elevado valor de energía en comparación con el resto de señales que forman la señal completa de TV. Al utilizar la función de medición de potencia donde se debe especificar una frecuencia central y una banda, se consideró entonces que es necesario medir el espectro para cada uno de los canales de TV en UHF y VHF en esta frecuencia (1,25MHz) y con una banda de 0,5 MHz.

Paralelamente al bloque SMT Power In Band, se utiliza una función que realiza la conversión de unidades del espectro de potencia medida, con el propósito de personalizar el espectro de salida y que puede llevar a ordenar los datos en un histograma con todas las potencias medidas para cada uno de los canales de TV en las frecuencias de VHF y UHF.

Esta función utiliza la relación entre el tamaño de ventana y el tamaño de FFT para corregir cualquier diferencia entre el número de intervalos de frecuencia en el espectro y el número de puntos en la señal de dominio de tiempo, garantizando de esta forma que se puede conservar la energía de la señal original.

Luego de realizar el censado de energía, hay que tomar la decisión de indicar la presencia o ausencia de cualquier tipo de usuario. El censado del espectro genera una hipótesis de tipo binaria donde se considera la hipótesis nula H_0 como la ausencia de un PU y a la H_1 como la presencia de un PU, pero al evaluar estas se presentan errores debido a factores como el ruido, por lo que se puede generar falsas alarmas o simplemente no detectar la señal a pesar de existir ocupación de canal. Es así que se puede presentar estos tipos de probabilidades:

$$P_f = P(E > \lambda | H_0) \quad (2)$$

$$P_d = P(E > \lambda | H_1) \quad (3)$$

Donde P_f es la probabilidad de falsa alarma y P_d la probabilidad de detección.

La decisión de ausencia o presencia de usuario se la realiza mediante la utilización de las funciones de probabilidad. Al tener valores provenientes de las funciones de medición de energía, se puede formar un histograma. La distribución de todos los datos del histograma que provienen de la media y la varianza de las potencias medidas y que muestran una asimetría positiva, son aproximadamente los de una distribución de tipo gamma. La expresión de esta función gamma está basada en los parámetros positivos α y β , los cuales definen su forma y alcance. Los valores que alimentan los bloques de probabilidades ContinuosPDF.vi y ContinuosCDF.vi están dados al despejar α y β .

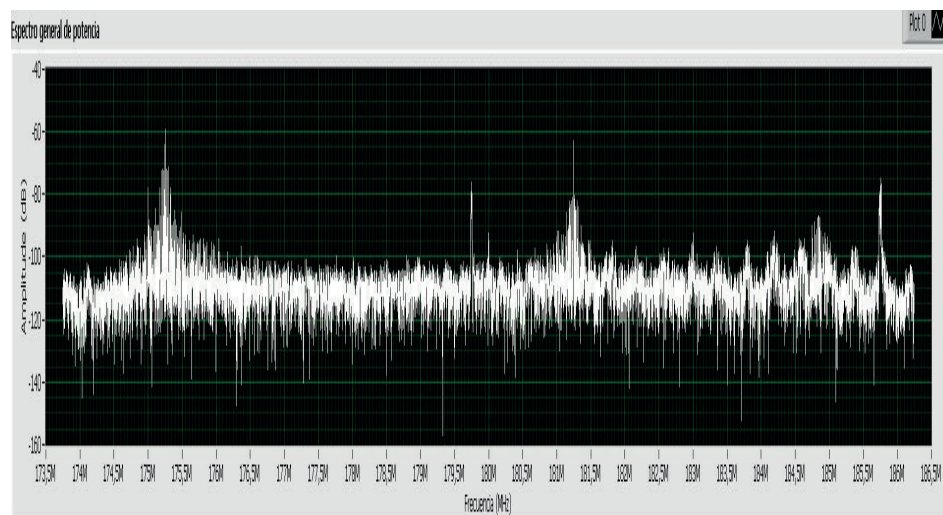
Mediante estas funciones se calcula la probabilidad acumulada de los valores de entrada, que para el caso del algoritmo es considerado como el valor de la toma de decisión con -50dBm. Para la estimación del umbral se consideró las señales de tipo analógicos debido a que la parte de espectro que se encuentra ocupada en su mayoría, utiliza este tipo de señales en contraste con una sola señal de TDT existente. La indicación de canal libre u ocupado depende de la probabilidad de que los valores de la media y la varianza igualados a los valores de α y β para esta distribución tipo Gamma, tengan un valor menor al indicado en la decisión.

3. RESULTADOS

Se inicia la toma de datos mediante los bloques correspondientes a la configuración de Recepción en la USRP, se verifica en el espectro general de potencia la recepción de las diferentes señales con un ancho de banda de 12,1MHz aproximadamente que es lo establecido a través del I/Q

rate. Como ejemplo se tiene la Figura 6, la cual muestra el espectro para las frecuencias desde 174MHz hasta 186MHz, y donde se nota picos en 175,25MHz correspondiente a la portadora de video del canal 7 y otro pico en 181.25MHz que es la portadora de video del canal 8.

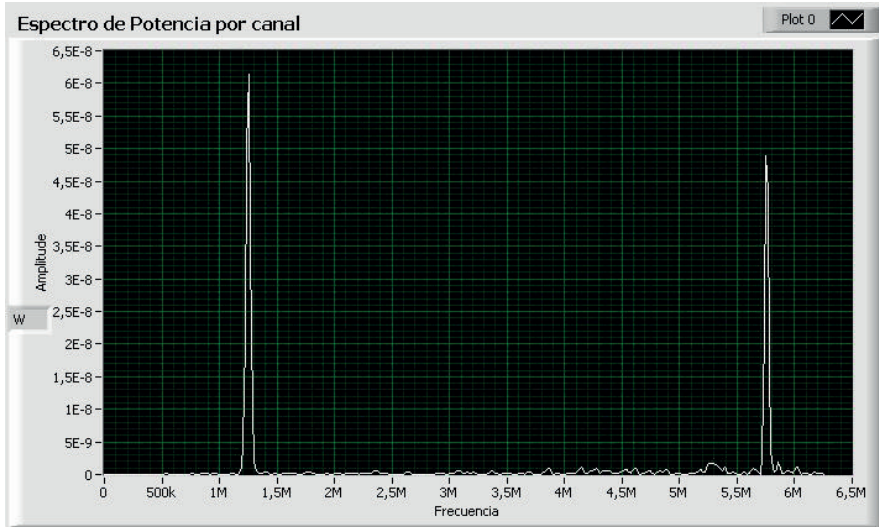
Figura 6. Espectro general de potencia para las frecuencias desde 174MHz hasta 186MHz



Fuente: Autores

En la Figura 7 se muestra un espectro de potencia para un canal cuyo resultado final es “ocupado”, siendo el canal 2 con frecuencias desde los 54 MHz hasta los 60MHz. El espectro muestra que la mayor concentración

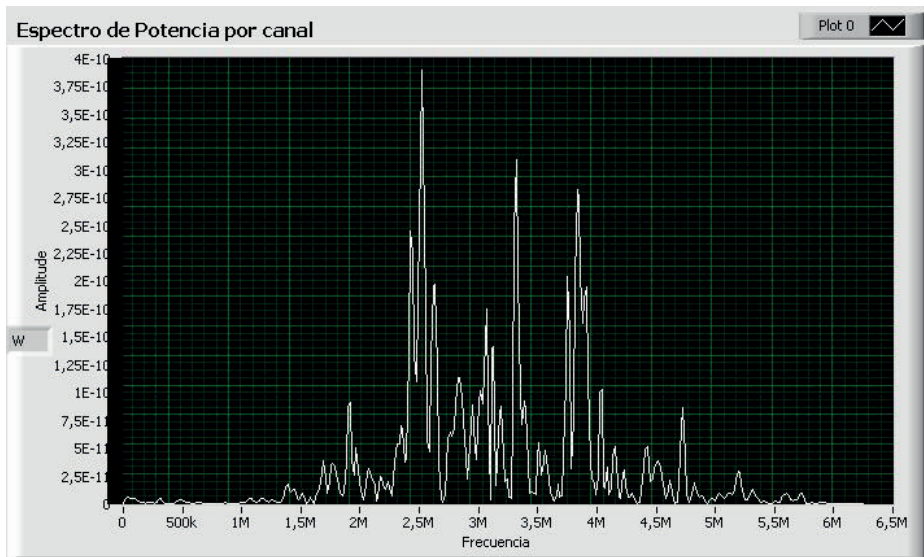
de energía se encuentra en la portadora de video a los 1.25MHz desde el lado de banda. Adicionalmente se puede notar el pico elevado en 55.75MHz, que es la correspondiente portadora de sonido.

Figura 7. Espectro de potencia para un canal ocupado (canal 2; 54 – 60 MHz)

Fuente: Autores

Para un canal considerado “libre” la Figura 8 muestra el ruido presente en el ancho de banda correspondiente al

canal 45 en las frecuencias entre 656-662MHz.

Figura 8. Espectro de potencia para un canal libre (canal 45; 656 – 662 MHz)

Fuente: Autores

El censo del espectro radioeléctrico con el algoritmo en radio definido por software anteriormente explicado y precargado en la USRP fue aplicado en la zona urbana del cantón Ambato, formado por sus nueve parroquias urbanas, de los cuales se ha considerado aplicar el algoritmo en dos puntos por parroquia urbana. Estos dos puntos son los extremos opuestos (lejano y cer-

cano) al punto considerado de mayor concentración de antenas repetidoras y matrices para el servicio de televisión que es el cerro Pilishurco.

El algoritmo entrega resultados donde indica los canales libres y los ocupados, tal como se muestra en un ejemplo de la Figura 9, donde se ha considerado la parroquia que mayor cantidad de canales libres posee.

Figura 9. Indicador de canales libres y ocupados para la zona de Ambato Tennis Club, Parroquia Ficoa



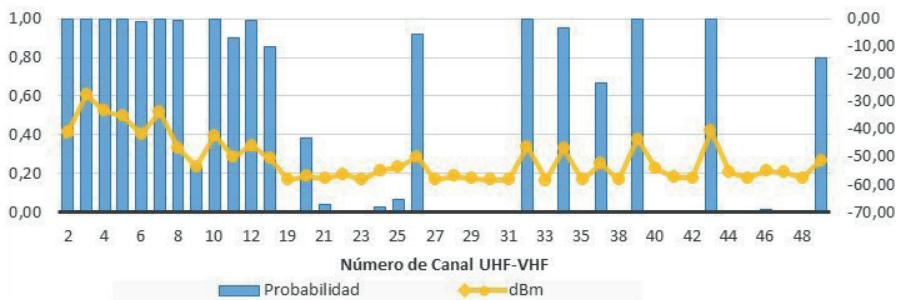
Fuente: Autores

Los resultados numéricos luego de ser procesados permitieron graficar la probabilidad y la potencia media para cada uno de los canales.

Las Figuras 9 y 10 muestran que existen un total de 15 canales ocupados con una probabilidad de detección mayor al 90%, equivalente al 37.71% del total del espectro. Existen 27 canales

libres dando un total de ancho de banda disponible de 162 MHz para que el estándar IEEE 802.11af potencialmente pueda ser utilizado, dando un equivalente del 64,29% disponible. Para la zona urbana del Cantón Ambato, se muestra el resumen de los canales libres y ocupados, con la disponibilidad de ancho de banda en la Tabla 1.

Figura 10. Indicador de probabilidad de ocupación de canal y valores medidos de potencia en dBm para la zona de Ambato Tennis Club, Parroquia Ficoa



Fuente: Autores

Tabla1. Resumen de canales libres y ocupados para la zona urbana del cantón Ambato

Parroquia	Referencia	Canales Ocupados			Canales Libres		
		Cant.	%	AB (MHz)	Cant.	%	AB (MHz)
La Merced	Hospital Regional	26	61,90	156	16	38,10	96
	Puente Indoamérica	24	57,14	144	18	42,86	108
Atocha-Ficoa	Tennis Club	15	35,71	90	27	64,29	162
	Hospital IESS	20	47,62	120	22	52,38	132
Celiano Monje	Av. Aníbal Granja	21	50,00	126	21	50,00	126
	Redondel Rumiñahui	25	59,52	150	17	40,48	102
Huachi Chico	Santa Marianita	24	57,14	144	18	42,86	108
	Redondel Policía	28	66,67	168	14	33,33	84
Huachi Loreto	Redondel Inst. Guayaquil	24	57,14	144	18	42,86	108
	Redondel Cumanda	30	71,43	180	12	28,57	72
La Matriz	Parque La Cantera	27	64,29	162	15	35,71	90
	Parque Montalvo	27	64,29	162	15	35,71	90
La Península	Tres Juanes	26	61,90	156	16	38,10	96
	Calle Olmo	26	61,90	156	16	38,10	96
Pishilata	Techo Propio	25	59,52	150	17	40,48	102
	Santa Cruz	22	52,38	132	20	47,62	120
San Francisco	Tomas Sevilla	26	61,90	156	16	38,10	96
	Parque Cevallos	26	61,90	156	16	38,10	96

Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

El estándar IEEE 802.11af es una evolución del sistema LAN inalámbrico IEEE802.11 que trabaja sobre los espacios de televisión en blanco TVWS. Para encontrar los espacios se aplicó un algoritmo en la USRP realizado en base al censado de energía, aplicado sobre la portadora de video de los canales de televisión analógicos en las frecuencias establecidas y asignadas para la provincia de Tungurahua, con un umbral de decisión de -50dBm, llegando a encontrar una media del 41,53% de espacio libre en las frecuencias en la banda I y II de VHF y banda IV y V en UHF para la zona ur-

baña del Cantón Ambato, definiendo que potencialmente puede ser utilizado para la implementación del estándar IEEE 802.11af.

Las tecnologías que utilizan los espacios de televisión en blanco tienen un alto potencial de utilización a futuro en el Ecuador, para llegar a cumplir con el objetivo de brindar servicios tecnológicos de telecomunicación de calidad, bajo costo, reutilizando espacios de espectro subutilizados, y en especial mediante la aplicación de las técnicas de radio cognitiva que permiten el cambio de paradigma en cuanto a la asignación de espectro.

REFERENCIAS

- [1] Flores, A., Guerra, R., & Knightly, E. (2013). IEEE 802.11af: A Standard for TV White Space Spectrum Sharing. *IEEE Communications Magazine*, 92-100.
- [2] Google Inc. (10 de diciembre de 2016). Google Spectrum Database. Obtenido de Google Spectrum Database: <https://www.google.com/get/spectrumdatabase/>
- [3] Holland, O., Bogucka, H., & Arturas, M. (2015). *Opportunistic Spectrum Sharing and White Space Access*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- [4] IEEE Standards Association. (2013). Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 5: Television White Spaces (TVWS) Operation. New York: IEEE LAN/MAN Standards Committee.
- [5] Lan, Z., Mizutani, K., Villardi, G., & Harada, H. (2013). Design and Implementation of a Wi-Fi Prototype System in TVWS based on IEEE 802.11 af. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 750-755.
- [6] National Instruments Corporation. (2017). National Instruments TM. Obtenido de Radio Definido por software: <http://www.ni.com/sdr/esa/>
- [7] Ponce, J. L. (2015). Modelado de la disponibilidad de canales de la banda uhf-tv para el uso potencial de sistemas con acceso oportunista al espectro (osa) en una zona urbana. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- [8] Saeed, R., & Stephen, S. (2011). *TV White Space Spectrum Technologies*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- [9] Satish Dhope, T., & Simunic, D. (2012). Spectrum Sensing Algorithm for Cognitive Radio Networks for Dynamic Spectrum Access for IEEE 802.11 af standard. *International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks*, 77-84.
- [10] Wyglinski, A., Nekovee, M., & Hou, T. (2010). *Cognitive Radio Communications and Networks*. San Diego, California: Elsevier.
- [11] National Instruments (2013). LabVIEW Professional Development System (Version 13.0.1) [Software]. Obtenido de <http://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>

Salesian geoportal in Ecuador: a road between Cathedral and Bazaar

Geoportal Salesiano en el Ecuador un camino de la Catedral al Bazar

G. Navas¹, R. Llerena² y P. Prieto³

Abstract: *This article describes the way in which the Salesian Community's geoportal was developed to demonstrate their work in Ecuador. It was developed with the collaboration from students who completed their final undergraduate work. To develop this, we combined two methodologies known as the Cathedral and Bazaar, finding a way to work with both to achieve the objectives, as well as the results obtained for the benefit of the chair and the use of a software development methodology applied to the university environment.*

Keywords: *Gis, Geoportal, Salesian Community, software development methodology, Cathedral and Bazaar*

Resumen: El presente artículo describe la forma en la que se desarrolló el geoportal de la Comunidad Salesiana para evidenciar sus obras en el Ecuador. Este fue elaborado con ayuda de estudiantes que realizaron sus trabajos finales de pregrado, coordinando entre dos metodologías conocidas como Catedral y Bazar, encontrando la manera de trabajar con las dos para lograr el cumplimiento de los objetivos, así como los resultados obtenidos en beneficio a la catedral y en el empleo de una metodología de desarrollo de software aplicado al ámbito universitario.

Palabras clave: Gis, Geoportal, Comunidad Salesiana, metodología de desarrollo de software, Catedral y Bazar.

-
- 1 Gustavo Ernesto Navas Ruilova, Master Universitario en Software Libre, Ingeniero Mecánico, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, gnavas@ups.edu.ec
 - 2 Robinson Dimitri Llerena Paz, Ingeniero en Sistemas, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, rllerena@ups.edu.ec
 - 3 Patsy Malena Prieto Vélez, Magíster en Gestión Informática Empresarial, Ingeniera en Sistemas Informáticos y de Computación, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, pprieto@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo describe la metodología utilizada en el desarrollo del Geoportal Salesiano, a través de una serie de trabajos finales de pregrado (tesis) de estudiantes de la carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Politécnica Salesiana, así como también la “Transferencia a la Cátedra” y sus beneficios dentro de la academia.

A continuación, se define lo que es un Geoportal y se describe sobre la presencia de la Comunidad Salesiana en el Ecuador.

Un Geoportal es un Sistema en un entorno Web que muestra información Geográfica, y en el cual se pueden establecer tres elementos que son: visualización, edición y catálogo, [1]. El visualizador que es el mapa digital con sus facilidades, el editor que en el Geoportal Salesiano tiene acceso y capacidad de modificación tanto de la información geográfica como la de texto, y el catálogo que corresponde a los metadatos y se encuentra en la base de datos de PostgreSQL.

La presencia Salesiana en Ecuador es muy dinámica conjugando factores tales como creatividad, alegría, visión a futuro y trabajo, generando un elemento complejo que abarca varias aristas, principalmente en los campos espiritual, social y educativo, cubriendo todo el país a través de misiones.

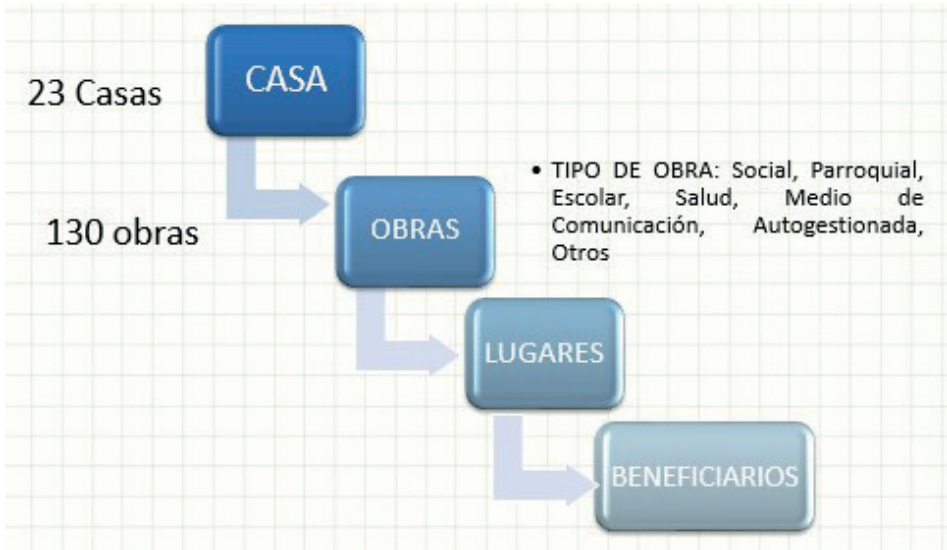
La Comunidad Salesiana define su presencia en el Ecuador como: “rica y diversificada en cuanto a obras y propuestas. Se trata de una presencia di-

námica, creativa y compleja. Estamos en el sector educativo (inicial, básico, medio y universitario); en los oratorios, parroquias, obras de opción preferencial (atención a niños y jóvenes trabajadores y en situación de riesgo); misiones de la Amazonía (Shuar y Achuar) y misiones andinas (Quichuas)” [2].

Este trabajo se ve plasmado en proyectos tales como el de Salinas de Guaranda, Chicos de la Calle, la educación técnica en Cuenca, las extensiones educativas en Chimborazo, los colegios como el Cristóbal Colón en Guayaquil, la radio de la Federación Shuar, el Programa Académico Cotopaxi, la Casa Campesina de Cayambe y el gran aporte editorial de Abya-Yala a las ciencias sociales, entre otras. Obras de esta envergadura nos llevan a meditar sobre la presencia de una congregación religiosa en forma práctica y real frente a problemas reales y a encontrar soluciones a estos problemas que dignifiquen la vida del ser humano en el Ecuador [3].

La Comunidad Salesiana cuenta con una serie de organizaciones llamadas Casas, al momento suman 23. A cada una de estas Casas se adscribe o asocia una o varias obras, las cuales son muy diversas, unas tan pequeñas como un dispensario médico, formado por 2 personas o tan grandes como la Universidad Politécnica Salesiana [4], conformada por 3 sedes, Quito, Guayaquil y Cuenca con influencia a nivel nacional [2]. Cada una de estas obras tiene una ubicación y un área de influencia que cubre a sus beneficiarios.

Figura 1. Estructura de la Comunidad Salesiana



Fuente: Autores

Esta estructura se mantiene como un estándar en todos los países en los cuales hay presencia salesiana.

La Comunidad Salesiana planteó a la Universidad Politécnica Salesiana, a través de su carrera de Ingeniería de Sistemas, el desarrollo de un Geoportal para visualizar la presencia de la Comunidad organizada por Casas, obras, lugares y beneficiarios de acuerdo a la estructura que se puede observar en la Figura 1.

El Geoportal Salesiano en sus inicios fue concebido como un sistema bajo la

óptica de la “Catedral”, pero luego por la cantidad y diversidad de información que debía ser procesada se planteó una nueva metodología mixta entre la “Catedral” y el “Bazar”, convirtiéndose en una herramienta web que permite visualizar la presencia de la Comunidad Salesiana en el Ecuador, ver Figura 2. Este proceso tomó tres años y estuvo integrado por 11 tesis de pregrado siendo 25 estudiantes los encargados de la recopilación de datos, análisis, diseño, construcción e implementación del módulo asignado.

Figura 2: Geoportal Salesiano, pantalla de inicio

Fuente: Autores

Para cada período, una sola tesis era la encargada de hacer la integración de los módulos que se encontraban disponibles. Cuando ésta tesis concluía se procedía a la integración de todos los trabajos sin importar el avance de los

otros módulos, pues como es lógico entender, no se podían redefinir actividades o hacer que un grupo espere a la finalización del trabajo de otro grupo de tesisistas para proceder a la integración.

2. METODOLOGÍA

En 1997 Eric Raymond, escribe un ensayo de nombre “La Catedral y el Bazar” [5], en este trabajo el autor plantea dos modelos diferentes de desarrollo de software, y lo hizo comparando la construcción de la “Catedral” frente al funcionamiento “bullicioso” del “Bazar”. El primero, se construye con una planificación detallada, con una jerarquía de trabajo definida; frente al bazar, que funciona sin una “forma definida” y que

se crea por la “agregación de la multitud” [6] [7].

Cada tesis fue manejada en forma independiente como una “Catedral” y cada una utilizó una metodología de desarrollo específica como: OHDM, XP o SCRUM, mientras que la gestión de todas las tesis en su conjunto debió ser manejada de acuerdo al “Bazar”, ya que habían retos e incertidumbre en diversos aspectos, tales como la recopilación

de datos, así como el desarrollo de los módulos y su integración.

2.1 Recopilación de datos

Se estableció una entrevista modelo que se debía hacer en cada una de las obras, la cual realizaban los estudiantes que, en ese momento estaban desarrollando su tesis.

Si bien, se estableció inicialmente los datos que debían ser recopilados, las entrevistas fueron muy diversas; pues en algunos casos estas se realizaban en el centro de las ciudades y en otros casos, en zonas de muy difícil acceso y siempre ajustándose a la disponibilidad de las personas que los iban a atender.

Para este proceso se establecieron dos etapas, en la primera se hizo la recopilación de datos en las tres ciudades más pobladas del país, (Quito, Guayaquil y Cuenca), en la segunda se completó el resto del país.

La recopilación piloto se desarrolló en la sede Kennedy, dentro de la ciudad de Quito. Aquí se realizaron varias entrevistas, una para cada obra, determinándose el conjunto de requerimientos y estableciendo una plantilla de entrevista. Se incluyó también la toma de fotos, la georreferenciación y el área de influencia de cada una de las obras.

En la versión 1, el ingreso de la información se la realizó directamente en la base de datos, a partir de la versión 2 se utilizó el sistema del Geoportal, para subir directamente la información. Luego se determinó que el portal siempre debía estar funcional para que

todos subieran los datos recopilados en el Geoportal y el de sus propias tesis. Al tener una nueva versión funcional, se migraron datos a ésta, hasta obtener el producto terminado.

El estudiante, luego de levantada la información debía procesarla y entregarla en formato Shapefile. El formato original se lo entregaba vacío a cada estudiante o grupo para que la información sea llenada en éste. A pesar de que este formato era muy común, tuvo una gran cantidad de dificultades y la calidad del Shapefile no fue del todo satisfactoria, por último, el mismo estudiante debía subir los datos recopilados de las entrevistas al Sistema.

El Shapefile contenía la ubicación de la obra, que se determinaba bajando la información obtenida desde el GPS en formato GPX, para luego procesarlo utilizando QGIS o Quantum Gis. A continuación, se procedía a exportar estas coordenadas a la base de datos en Post-GIS y a través de un formulario del sistema se ingresaban los datos de texto o atributos asociados con esta ubicación.

Otro Shapefile correspondía al área de influencia, que era un polígono generado a partir de las entrevistas realizadas. En algunas ocasiones esta área era tan pequeña, que se podía recorrer caminando; mientras existían otras áreas de influencia tan grandes o más que una provincia, en ese caso debió hacerse la determinación del área de influencia a través de un mapa del país.

La información referente al funcionamiento del sistema y la forma ade-

cuada de ingresar los datos era socializada con todos los tesistas, por ejemplo, al levantar la información de cada obra salesiana, el tesista debía tener claro

cuál era el polígono que correspondía al área de influencia, que nunca se reducía a los límites de la propiedad de la obra.

Figura 3: Componentes del Geoportal



Fuente: Autor

2.2 Desarrollo de los módulos

El Geoportal está formado por los componentes que se muestran en la Figura 3, y existen tres elementos:

- El Visualizador del Geoportal con una serie de facilidades para buscar por Casa, por obra Salesiana, etc.
- El módulo de Administración, para ingresar datos de tipo texto y geográficos, establecer el estilo visual para cada una de las obras, dar seguridad, manejar usuarios y roles.
- Y el componente de la Base de Datos.

Los roles antes mencionados son tres:

- Rol de administrador con acceso absoluto a cualquier parte del sistema;
- Rol administrador por Casa, con la capacidad de editar toda la información referente a las obras que ella regenta;
- Rol invitado que tiene acceso a la información de dominio público.

La dinámica propia de la creación del Geoportal dio lugar a una serie de versiones que se puede ver en el diagrama de Gantt de la Figura 4, allí se puede apreciar el momento en que se tuvo disponible cada una de las versiones, estas

son: versión 1, versión 2, versión 2.1, versión 3.

A continuación, se detallan los módulos que se desarrollaron y su versión:

- Visualización y gestión de estilos v 1
- Gestión de la información v 1
- Seguridad y gestión de mapas v 1
- Sistema para Casa Zumbahua v 2
- Seguridad e integración v 2.1
- Visualización, gestión de datos e integración v 2
- Administración v 2.1
- Sistema de manejo de Geojson v 2.1
- Sistema completo integrado v 3

Cada tesis en particular tiene sus propias características como es la metodología aplicada, pero fue necesario establecer algunas condiciones que debían ser permanentes a lo largo de todo el proceso, por ejemplo, se estableció que la Base de Datos que se utilizaría sería el PostgreSQL con la extensión PostGIS por lo que estas han sido el motor de la Base de Datos a lo largo de todas las tesis. El diseño de la Base de Datos ha ido adaptándose a las necesidades de cada tesis y ha ido ampliándose a medida que se avanzaba en las diferentes versiones del Geoportal.

2.3 Integración de los módulos

Se determinó que mientras se desarrollaban las tesis debía existir una que esté a cargo de hacer la integración. El problema que se presentó es que no todos los tesisas trabajaban al mismo ritmo y por lo tanto no se podía realizar la integración al concluir el trabajo de to-

das las tesis; por lo que se decidió que se debía llegar a un punto y finalizarla parcialmente. Para este efecto se realizaron reuniones con el fin de entregar el código fuente hasta un punto determinado.

Si el tesisas que estaba realizando la integración terminaba su trabajo, este pasaba a un nuevo tesisas quien debía terminar de integrar lo que faltaba, continuar con su trabajo y luego realizar una nueva integración en un punto determinado. La nueva tesis arrancaba con la integración y si surgían nuevos requerimientos, estos se desarrollaban en las siguientes versiones.

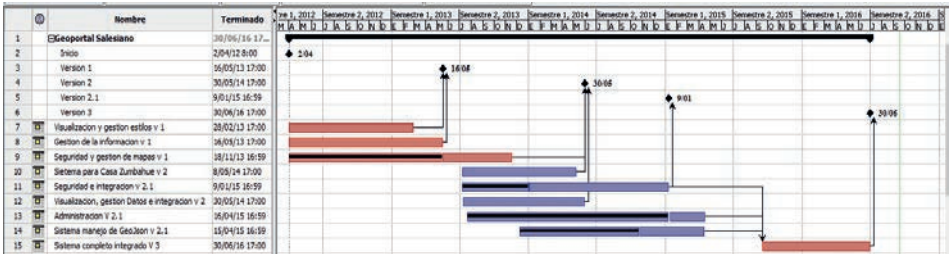
Siempre se manejó el concepto de “Libere rápido y a menudo” [5], y para ello siempre los tesisas contaron con un acceso a un repositorio en Dropbox para compartir las tesis. Se manejó una versión funcional en cada momento y solo una tesis estaba encargada de manejar el sistema integrado, se responsabilizaba del mantenimiento, se aseguraba de que el sistema este funcional y que tenga los datos activos y actualizados durante todo el proceso, es decir, era el proyecto que gobernaba a los demás.[8]

La distribución de los módulos en función de cada una de las versiones se las describe a continuación:

Los módulos que conformaron la versión 1, fueron:

- Visualización y gestión de estilos v 1
- Gestión de la información v 1
- Seguridad y Gestión de Mapas v 1

Figura 4: Proceso de integración de cada uno de los módulos (tesis)



Fuente: Autores

De estos tres módulos los dos primeros estuvieron listos para ser integrados completamente en la versión 1, pero el módulo de “Seguridad y Gestión de Mapas”, no estuvo listo sino sólo en un 69%, lo que significó que hubo que integrar este módulo parcialmente al sistema integrado.

La versión 2 se la conformó con:

- Seguridad y gestión de mapas v 1
- Sistema para Casa Zumbahua v 2
- Seguridad e Integración v 2.1
- Visualización, Gestión de Datos e Integración v 2

Tabla 1: Avance porcentual de cada una de las versiones del Geoportal Salesiano

MÓDULOS DEL SISTEMA	VERSIONES (porcentaje)				FECHA ENTREGA MÓDULO
	1	2	2,1	3	
Visualización y gestión de estilos v 1	100				16/05/2013
Gestión de la información v 1	100				16/05/2013
Seguridad y Gestión de Mapas v 1	69	100			30/05/2014
Sistema para Casa Zumbahua v 2		100			30/05/2014
Seguridad e Integración v 2.1		32	100		09/01/2015
Visualización, Gestión de Datos e Integración v 2		100			09/01/2015
Administración v 2.1			85	100	30/06/2016
Sistema de manejo de GeoJson v 2.1			64	100	30/06/2016
Fin de Versión	16/05/2013	30/05/2014	09/01/2015	30/06/2016	

Fuente: Autores

De estos cuatro módulos el de “Seguridad e Integración v 2.1”, fue integrado apenas el 32%. Los otros tres módulos fueron integrados en forma completa.

La versión 2.1 se la conformó con:

- Seguridad e integración v 2.1
- Administración v 2.1
- Sistema de manejo de GeoJson v 2.1

La versión 2.1 se conformó por el modulo Seguridad e integración v 2.1 completamente y por los módulos “Administración v 2.1” y “Sistema de manejo de GeoJson v 2.1” estuvieron listos parcialmente.

En la versión 3, partiendo de la versión 2.1 y con los módulos completos de “Administración v 2.1” y “Sistema de manejo de GeoJson v 2.1” se tuvo la versión final. El avance de los módulos, por versión se lo puede observar en la Tabla 1.

La principal motivación de los estudiantes para formar parte del equipo de trabajo obedecía a la necesidad de obtener el título universitario de “Ingeniero de Sistemas” otorgado por la Universidad Politécnica Salesiana. El funcionamiento en conjunto, se desarrolló como una comunidad, similar a las comunidades de software libre con énfasis en el espíritu cooperativo [9] [10]. La forma más importante de generar comunidad es lo que se llamó “Transferencia a la Catedra”, que se llevó a cabo entregando en una clase, a modo de taller práctico, el código, la funcionalidad y demás características del sistema tomado de una de las tesis, para que los estudiantes realicen alguna actividad aplicable a la materia que se estaba dictando. Por ejemplo, si la materia era “Programación Hipermedial”, se pedía a los estudiantes, durante una práctica de laboratorio, hacer algún cambio al sistema para probar algunos conceptos dados en la parte teórica de la materia.

3. ACADEMIA

Al trabajar bajo esta modalidad durante 3 años, se pudo llegar a más de 300 estudiantes de los últimos semestres de la carrera de Ingeniería de Sistemas, quienes utilizaron estos códigos y es aquí de donde salieron los tesisistas para las nuevas versiones; manteniendo algo que se considera fundamental en el desarrollo de código abierto, esto

es la “integración de nuevos miembros” [5] al proceso y el considerarlos automáticamente parte de lo que los autores Gharehyazie, Posnett, Vasilescu y Filkov, llaman “círculo de confianza”, es decir la integración de cada nueva tesis al desarrollo del sistema representa el ingreso de los estudiantes al círculo de confianza [11].

4. RESULTADOS

En definitiva, la recopilación de datos funcionó fundamentalmente como un Bazar, pues no se lo podía hacer bajo una supervisión y planificación rigurosa, ya que dependía de la disponibilidad de espacio, de que haya alguna persona dispuesta a entregar la información, que el estudiante o estudiantes que iban a realizar el levantamiento de información tengan la disposición de hacerlo en el momento y lugar donde se tenía la obra.

La parte del desarrollo del software se lo realizó en forma más rigurosa por lo que se encasilla en la técnica de Catedral utilizada en el desarrollo de software propietario, es decir que este desarrollo fue una mezcla de la técnica llamada Bazar y la técnica llamada Catedral, la Tabla 2, muestra cada una de las actividades del Geoportal dentro de la Catedral y el Bazar.

Tabla 2. Metodología de la Catedral y del Bazar dentro del proyecto Geoportal Salesiano

Catedral	Bazar
Recopilación de datos	
Plantilla base para realizar la entrevista. Datos a ser recopilados. Definición de ubicación de la obra. Definición de área de influencia. Preparación de los tesisas-entrevistador para realizar la entrevista. Definición de los módulos a desarrollar y a que tesisas asignarlos.	Gran diversidad de entrevistadores para la toma de datos, un total de 25 tesisas y 3 docentes. Tipo de obra: tamaño de la obra, forma de gestionarla y ubicación. Perfil del entrevistado, muy diversos entre seculares y religiosos, educadores, docentes, comunicadores, etc. Integración de la versión con lo que se disponía en ese momento.
Georreferenciación	
Georreferenciar la ubicación de la obra	Zona que cubría el área de influencia
Gestión	
Cada tesis en particular	De las tesis en su conjunto

Fuente: Autores

Se pudo determinar que para trabajar con los grupos era muy importante que exista la **confianza**, para compartir, entregar código, así como también la transferencia de conocimiento respecto

a lo desarrollado por cada uno de ellos. El generar esa **confianza** en todos y cada uno de los miembros de los grupos resultó de suma importancia, como lo estudia Yang en su artículo [12].

Figura 5. Obras Salesianas



Fuente: Autores

Hay tres resultados producto del desarrollo y la gestión del Geoportal: el primero propio de la academia que se conoce como “Transferencia a la Cátedra”, el segundo el establecimiento de una metodología de desarrollo, que contemple tanto la Catedral como el Bazar y el tercero el Geoportal en sí

mismo, cuya meta es conocer toda la información del servicio social que brinda la Comunidad Salesiana y las diferentes actividades que realizan, por medio de mapas interactivos que permiten identificar de manera sencilla cada uno de los lugares en donde se encuentran las obras como muestra la Figura 5.

5. CONCLUSIONES

Luego de sortear todas las dificultades que implicó el tener un grupo de estudiantes trabajando en el proyecto y habiendo realizado la etapa que corresponde a la recolección de datos y el in-

greso de información al estilo Bazar y la etapa de desarrollo del programa de integración como eje central el cual fue trabajado con la rigurosidad de la Catedral, se tiene el producto final.

Figura 6. Búsqueda de una Obra Salesiana



Fuente: Autores

La experiencia de trabajar con varios grupos de estudiantes para la consecución de un trabajo específico sin perder la visión de una meta a alcanzar, ha permitido establecer normas y reglas bajo las cuales se puede desarrollar un proyecto a gran escala valiéndose de grupos que toman trabajos desarrollados previamente, incrementando su alcance pero sin perder de vista el objetivo original, lográndose de esta forma obtener un proyecto con mejores y mayores bondades, siempre cobijado bajo una misma línea de trabajo.

El Geoportal Salesiano presenta mucha versatilidad en la parte de la búsqueda y acceso a una, o varias obras Salesianas, como muestra la Figura 6.

Sin olvidar los tipos de búsqueda como: búsqueda temática, búsqueda por obra, búsqueda Casa – Obra y búsqueda Casa – Tipo – Obra, ver Figura 7.

Podemos afirmar entonces que el Bazar maneja de mejor forma la diversidad de información de las obras de la Comunidad Salesiana y la Catedral maneja mejor el establecimiento de parámetros, plantillas, metodologías de trabajo.

La Catedral y el Bazar, pueden existir y funcionar en conjunto, estableciendo en qué proceso funciona bien la una o la otra.

Tomando en cuenta que la estructura organizacional que mantienen los

salesianos es única en todos los países, y que si bien este trabajo se ha realizado en el territorio ecuatoriano, podemos

afirmar que éste proyecto se lo puede implementar en cualquier parte de mundo, donde haya presencia Salesiana.

Figura 7. Búsqueda Obras Salesianas, por Casa-Obra



Fuente: Autores

El desarrollo del Geoportal ha permitido su utilización dentro del área académica, convirtiéndose en un ejemplo práctico de un punto de partida para

proyectos dentro de la cátedra, logrando ubicar a los estudiantes en contacto con el trabajo real que se lleva a cabo fuera de las aulas.

AGRADECIMIENTOS

Si bien el trabajo es de total y exclusiva responsabilidad de los autores, debemos agradecer el invaluable apoyo brindado por toda la Comunidad Salesiana, en especial al Padre Marcelo Farfán Pacheco sdb. Coordinador General de las IUS; al Padre Francisco Sánchez

Carrión sdb. Superior de los Salesianos en el Ecuador; a la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador regida por el Padre Javier Herrán Gómez sdb; entre muchas otras personas que compartieron sus experiencias y conocimiento.

REFERENCIAS

- [1] G. Navas y P. Prieto, “Geoportales en el Ecuador,” *La Granja*, vol. 14, n° 2, pp. 58-64, 2011.
- [2] Comunidad Salesiana, *Presentación de la Comunidad Salesiana*, Fecha de Acceso: 29 septiembre 2016, <http://www.salesianos.org.ec/pags/nosotros.jsp>.
- [3] L. Vázquez, J. Regalado, B. Garzón, V. Torres, J. Juncosa, “*La presencia Salesiana en Ecuador: Perspectivas históricas y sociales*,” 1ra Ed, Quito, Abya Yala, 2012, pp. 144-148.
- [4] Universidad Politécnica Salesiana, “Reseña Histórica,” 2014, Fecha de acceso: 08/09/2016, <http://www.ups.edu.ec/web/guest/resena-historica>.
- [5] E. Raymond, “The Cathedral and the Bazaar,” *Knowledge, Technology & Policy*, 1999.
- [6] W. Greg y A. Jorge, “Ingeniería Empírica de Programas,” *Investigación y Ciencia* (Edición española de Scientific American), n° 436, pp. 38-45, Enero 2013.
- [7] M. Vidal, M., *Cooperación sin mando: una introducción al software libre*, Fecha de acceso: 28/09/2017, <http://biblioweb.sindominio.net/telematica/softlibre/sl.pdf>
- [8] T. Benson, “Open Source Paradigm: A Synopsis of The Cathedral and the Bazaar for Health and Social Care,” *Journal of Innovation in Health Informatics*, 2016, 23(2), pp. 488-492
- [9] Free Software Foundation, *About Free Software*, Fecha de acceso: 6/07/2016, <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>.
- [10] R. Stallman, “Software Libre para una sociedad libre” 2004, 2da Ed, Madrid, Traficantes de Sueños, 2004.
- [11] M. Gharehyazie, D. Posnett, B. Vasilescu y V. Filkov, “Developer initiation and social interactions in OSS: A case study of the Apache Software Foundation,” *Empirical Software Engineering*, n° agosto, 2014.
- [12] C. Yang, K. C. Yang y S. Y. Tseng, “Applying grounded theory to study collaborative climate, supplier relationship, trust, knowledge sharing, and performance in an organization,” *Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 74-78, 8-11, Dec. 2009.

Recommending system of mobile applications for personal care in children with disabilities based on hierarchical agglomerative clustering

Sistema recomendador de aplicaciones móviles para el cuidado personal en niños con discapacidad basado en conglomerados aglomerativos jerárquicos

D. Quisi¹, V. Saquicela²

Abstract: *This paper presents the first stage of development of a mobile application recommendation system as an educational support tool for children with various types of disabilities. This recommendation builds on data mining techniques that extract information from mobile applications from the Google Play store to provide educational guidelines for the care of the human body. The system was implemented according to the guidelines proposed by a group of experts in the area of initial education and allowed to collect and extract more than 1,000 mobile applications. From this application set, a sample was randomly extracted and validated by the expert team. The system allowed to optimally generating groups of applications that are focused according to the activities of the care of the human body. The system is an educational support tool that can be effectively integrated into the classrooms of schools, homes and rehabilitation centers.*

Keywords: *Recommender Mobile Applications, TIC for disability, personal care in children, recommender systems.*

Resumen: En este trabajo se presenta la primera etapa de desarrollo de un sistema recomendador de aplicaciones móviles como herramienta de soporte educativo para niños con diversos tipos de discapacidad. Este recomendador se sustenta en técnicas de minería de datos que extrae la información de aplicaciones móviles de la tienda de Google Play, a fin de brindar pautas educativas para el cuidado del cuerpo humano. El sistema se implementó de acuerdo a los lineamientos propuestos por un grupo de expertos en el área de educación inicial y permitió recopilar y extraer más de 1.000 aplicaciones móviles. De este conjunto de aplicación se extrajo aleatoriamente una muestra que fue revisada y validada por el equipo de expertos. El sistema permitió generar de forma óptima grupos de aplicaciones que se enfocan de acuerdo a las actividades del cuidado del cuerpo humano. El sistema se constituye en una herramienta de apoyo educativa que se puede integrar efectivamente en las aulas de las escuelas, hogares y centros de rehabilitación.

Palabras clave: Recomendador Aplicaciones Móviles, TIC para discapacidad, cuidado personal en niños, sistemas recomendadores.

1 Diego Quisi-Peralta, Docente Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, Ecuador dquisi@ups.edu.ec

2 Victor Saquicela, Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Cuenca, Ecuador, victor.saquicela@ucuenca.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Según la organización mundial de la salud se estima que en la actualidad más de mil millones de personas viven con alguna forma de discapacidad. De este grupo, existe un importante número de niños con diversas afectaciones [1].

De estos niños, la gran mayoría necesitan de herramientas que sean de soporte en el proceso de enseñanza para el cuidado personal para la adquisición de buenos hábitos de salud, higiene y cuidado de los espacios en que vivimos. El objetivo es que la persona conozca, cuide y valore su cuerpo para facilitar su relación consigo misma y con las demás personas [2].

Por otra parte, en la actualidad el Internet es la mayor fuente de conteni-

dos donde los usuarios pueden buscar información sobre lo que necesitan que generalmente dan como resultado un exagerado volumen de información. En este contexto, hoy en día se cuenta con un gran número de aplicaciones móviles que se pueden constituir en un insumo clave para el soporte educativo de estos niños [3].

Sobre la base de las consideraciones anteriores, el objetivo de este artículo es buscar apoyar en los métodos de enseñanza-aprendizaje para el cuidado personal en niños con discapacidad, es decir, en la recomendación de aplicaciones móviles Android que sirvan de apoyo en el cuidado personal a niños con discapacidad basados en el contexto de las aplicaciones.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

Un sistema de recomendación tiene como objetivo proporcionar a los usuarios recomendaciones personalizadas de productos o servicios para manejar el creciente problema de sobrecarga de información [4]. En este contexto, se busca mejorar los servicios de búsqueda ofrecidas por las plataformas de distribución de aplicaciones móviles aplicando sistemas de recomendación basados en el contenido a través de técnicas de minería de datos.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, los siguientes proyectos de investigación han enfocado sus es-

fuerzos para recomendar aplicaciones Smartphone utilizando un algoritmo de filtrado colaborativo, que se basa en la similitudes de los perfiles de usuarios, en donde demostraron que el sistema propuesto es ligeramente mejor que los sistemas convencionales con un MAE (error absoluto medio) de $0.7867 \sim 0.7881$ [5].

En este contexto, [6] presenta una innovación de un sistema de recomendación para el internet de las cosas. En donde, la venta de objetos físicos inteligentes junto con una aplicación móvil se convierte en una tendencia próxima.

Es por ello, que utiliza datos disponibles públicos acerca de estas aplicaciones como fuente de personalización y crea un inventario digital de objetos físicos para cada usuario.

Además, se han desarrollado sistema de recomendación para la configuración de permisos en aplicaciones móviles (PerRec), que ayuda a los usuarios móviles a establecer permisos con el fin de mejorar la privacidad del usuario y la seguridad del dispositivo [7].

En el área de la comunicación y lenguaje, [8] presenta un sistema para la generación automática de planes terapéuticos para los trastornos del habla y del lenguaje mediante el uso de la técnica PAM (Partition Around Medoids) para la generación de grupos de perfiles de sujetos con dos niveles de granularidad: El diagnóstico y condiciones médicas, y las habilidades de comunicación afectadas.

En otro dominio, [9] propone un sistema de recomendación para encontrar pasajeros y taxis vacantes mediante el aprendizaje de las trayectorias de los taxis. En primer lugar, este sistema proporciona a los taxistas algunas ubicaciones y las rutas hacia los cuales es más probable que recojan pasajeros rápidamente. En segundo lugar, recomienda a las personas algunos lugares donde pueden encontrar fácilmente taxis libres, todo esto mediante el uso de las trayectorias generadas históricas por más de 12.000 taxis durante 110 días.

En otro contexto, se han utilizado para la recomendación de música a

través de un enfoque híbrido utilizando procesos de red cognitiva y conglomerados aglomerativos jerárquicos siendo las entradas del algoritmo las preferencias del usuario y las similitudes entre las piezas musicales[13]. También, existe un enfoque que han utilizado la semántica y las técnicas de agrupamiento para la recomendación de artículos, lo que buscan es encontrar la distancia/similitud entre las etiquetas de los artículos. A fin de reducir el tamaño de las dimensiones de las entradas utilizan métodos de agrupación (k-means), en consecuencia, los resultados mejoran significativamente en términos de efectividad y eficiencia a los del estado del arte [14].

Se presenta un sistema de recomendación de contenidos multimedia basados en filtros colaborativos que hace uso del clasificador Naive Bayes como una alternativa a los problemas de salto de canal y acceso al contenido multimedia, en el entorno de televisión de TDi (Servicios de T-Learning para el soporte de comunidades académicas virtuales [15].

Por otro lado, se han enfocado en desarrollar sistemas de recomendación basados en la información que los usuarios suministran en redes sociales. Propone un modelo abstracto que integra conceptos de recomendación basada en filtrado colaborativo con características típicas de las interacciones en redes sociales que son útiles para el proceso de recomendación de preferencias [16].

Finalmente, a nivel de código, destaca la existencia de algunas bibliotecas como Lenskit (orientado principalmen-

te a la academia) [17] y Apache Mahout [18], las que proveen acceso a algoritmos de recomendación (principalmente de filtrado colaborativo) en sistemas ya

desarrollados, en base a información previamente recolectada de usuarios, ítems y preferencias.

3. METODOLOGÍA

Un sistema recomendador es un software con capacidad de hacer recomendaciones a partir de los datos del perfil del usuario y un conjunto de preferencias o datos. Éstos realizan un filtrado de toda esa información disponible y nos dan aquellos resultados que consideran que pueden ser de mayor interés para los usuarios, de forma que, nos facilitan la toma de decisiones [16].

Las técnicas de recomendación poseen varias clasificaciones basándose en las fuentes de datos sobre las cuales se hacen las recomendaciones y el uso que se les da a estos datos [19]. Para este caso en particular se emplea un filtro basado en contenido (CBF³).

Filtro basado en contenido: Es un enfoque que favorece la semántica del contenido. Por lo general, las técnicas de filtrado basado contenido usan descripciones de los productos (por ejemplo, palabras claves, descripciones, etc.) y calculan las preferencias de los usuarios con los productos, posteriormente construyen una lista de recomendaciones al buscar productos que coincidan con las preferencias del usuario [20].

La arquitectura propuesta consta de tres capas que se presenta en la Figura 1. En donde, la primera capa es la acceso de los datos a través de una aplicación móvil Android. La segunda capa es la de inteligencia artificial, la misma que cuenta con algoritmos de agrupación, máquinas de soporte vectorial (VSM) y procesamiento del lenguaje natural (PLN) para la recomendación de aplicaciones móviles dependiendo del contenido. Finalmente, la tercera capa es la de conocimiento que mediante una base de datos de discapacidades y los temas del cuidado del cuerpo permite generar un repositorio de aplicaciones móviles obtenidas a partir de un crawler⁴ desde la tienda de Google Play. Cabe agregar que el sistema fue desarrollado en Python para la parte del *BackEnd* y en el *FronEnd* se utilizó Android.

A continuación se procede a detallar cada una de las capas y los módulos que forman parte de esta arquitectura:

3.1 Capa de conocimiento

En todo sistema recomendador es importante contar con un corpus o base de datos, que para este caso en particular son las aplicaciones móviles. En

3 *Content Based Filter.*

4 Software que permite explorar páginas Web en forma automática.

consecuencia, mediante un crawler se extrajo un conjunto de 1000 aplicaciones para el cuidado del cuerpo humano que están almacenadas dentro de una base de datos PostgreSQL.

Figura 1. Arquitectura del sistema recomendador propuesto



Fuente: Autores

Los temas de búsqueda fueron definidos por los expertos en estimulación temprana e intervención precoz, además definieron cuales deben de ser las

características o conceptos necesarios que una aplicación debe contener, con el fin de verificar si cumplen la función para la que es requerida en el aprendizaje-enseñanza del cuidado personal.

3.2 Capa inteligente

En esta capa, se concentran los algoritmos empleados para mejorar los procesos de búsqueda de las plataformas de distribución móvil, específicamente Google Play Store.

Para lograr esto se utilizaron diferentes técnicas de inteligencia artificial para la recomendación de aplicaciones móviles. A continuación se describe brevemente cada una de los algoritmos empleados haciendo un énfasis en el clúster jerárquico.

3.2.1 Procesamiento del lenguaje natural

Es uno de los campos de la inteligencia artificial que permite procesar el lenguaje dentro de máquinas computacionales. En virtud de ello, se utilizó para la limpieza y extracción de las descripciones de las aplicaciones móviles, con el objetivo de que puedan ser procesadas por máquinas de soporte vectorial. Este proceso se compone de la eliminación de palabra que no tienen carga semántica (stopwords), la obtención del lema de la palabra, eliminación de los signos de puntuación y números. Al final se genera un vector característico que define a la descripción y contenidos que de la aplicación móvil.

3.2.2 Máquinas de soporte vectorial

Con el vector característico generado por cada aplicación móvil es nece-

sario aplicar algoritmos que permitan cuantificar el grado de relación que tienen las aplicaciones móviles con el concepto de búsqueda. Este valor está comprendido entre un rango de 0-1, en donde 0 significa que la descripción de la aplicación no tiene ninguna relación con la búsqueda y 1 que tiene una fuerte relación. Para lograr esto, se utilizó la similitud de coseno que permite obtener el grado de similitud de dos vectores mediante su ángulo. En la Ecuación (1) se describe la fórmula empleada para el cálculo de similitud del coseno.

$$\text{simcos}(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^N A[i] \cap B[i]}{\sum_{i=1}^N (A[i])^2 * \sum_{i=1}^N (B[i])^2} \quad (1)$$

Donde N es el tamaño del vector característico; A es el vector que represen-

$$d(DA_i, DA_j) = w_1 \cdot \frac{|ra_i - ra_j|}{\max \overline{RA}} + w_2 \cdot \frac{|rn_i - rn_j|}{\max \overline{RN}} + w_3 \cdot |VSM_i - VSM_j| \quad (2)$$

Donde $d(DA_i, DA_j)$ representa la distancia existente entre los descriptores de las aplicaciones i y j. ra_i y ra_j representan las calificaciones que obtienen las aplicaciones i y j. Los pesos que se pueden asignar a las diferentes características, con el fin de dar mayor importancia a aquella que se desee para el análisis, se representan como w_1, w_2 y w_3 . $\max \overline{RA}$ es un factor de normalización que garantiza que la diferencia entre la evaluación de las aplicaciones esté en el rango [0,1]. Por su parte, el factor de normalización que garantiza que la diferencia entre el número de descargas de las aplicaciones esté en el rango [0,1] se representa como el $\max \overline{RN}$. Por último, \overline{VSM} representa

ta al concepto del tema buscado; B es el vector que representa la descripción de la aplicación móvil e i representa la posición del vector.

3.2.3 Clúster jerárquico

Algunos sistemas de recomendación basan el proceso de agrupación a través fórmulas matemáticas y las coincidencias de las palabras escritas por el usuario en las descripciones de las aplicaciones móviles. En consecuencia, se aplicó la ecuación 2 para obtener el nivel de similitud que tienen las aplicaciones basadas en el contexto, tomando como entrada: el cálculo del coseno, el ranking de la aplicación y el número de descargas que tiene la aplicación.

el valor del cálculo de la similitud del coseno entre la aplicación y la categoría seleccionada o la consulta.

3.3 Capa de acceso

La aplicación móvil para la obtención de los datos en el sistema de recomendaciones es accedido a través de servicios web mediante el estilo arquitectónico *REST-JSON*, que se encarga de obtener los resultados probabilísticos a partir de la información almacenada en la capa del conocimiento.

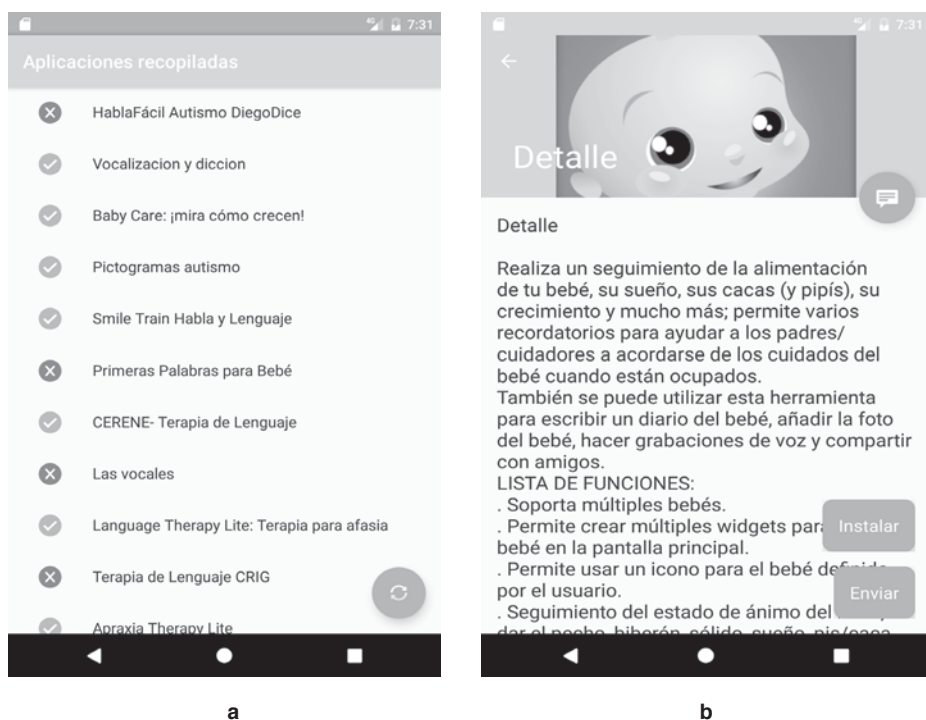
El proceso consta desde que el usuario envía una consulta sobre un tema en específico dentro del dominio del cuidado personal mediante el consumo de un servicio web. El servidor envía todas

las aplicaciones filtradas por el contenido que cumplan con la búsqueda que se visualiza en la Figura 2 (a). Seguidamente, el usuario selecciona una aplicación y se presenta las características de la aplicación, como por ejemplo: la descripción, el ranking, el número de descargas, plataformas soportadas, el desarrollador, el tipo de contenido, etc. Si la aplicación seleccionada cumple

con los requisitos del usuario este se conecta al servicio de Google Play para la descarga e instalación de la aplicación en el dispositivo móvil.

En la Figura 2 (b) se presenta una pantalla de la aplicación móvil “*Baby Care*”, permite realizar un seguimiento de la alimentación de tu bebé, sueño, crecimiento, etc.

Figura 2. Listado de aplicaciones (a) y descripción de la aplicación seleccionada (b)



Fuente: Baby Care

4. RESULTADOS

A fin de validar la propuesta planteada, se llevó a cabo un proceso experimental consistente en 2 etapas. En la

primera se extrajo la información correspondiente a 1000 aplicaciones de la tienda en línea de Google®, Play Store. Por

otra parte, en la segunda etapa se aplicó un cuestionario a un grupo de 5 expertos del área, a fin de conocer las percepciones sobre la utilidad del sistema.

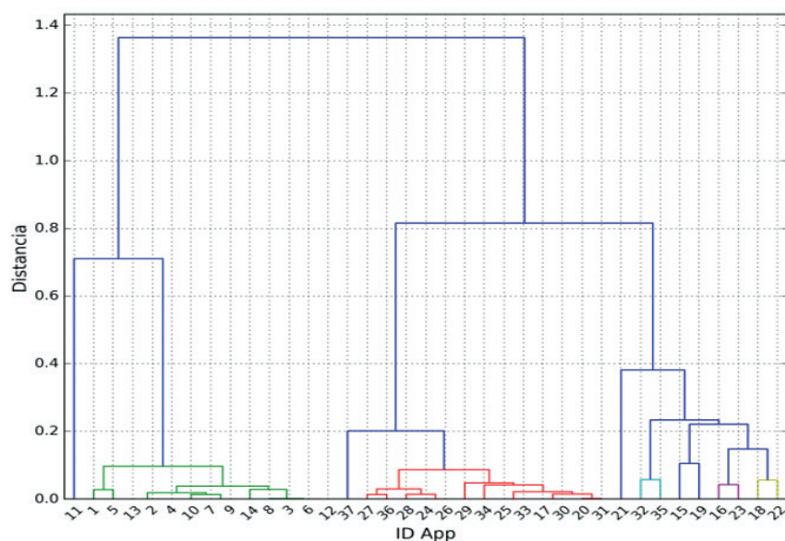
Dentro de la primera etapa, a fin de determinar si las aplicaciones existentes en la tienda de Google® se relacionaban con el campo del cuidado personal de personas con discapacidad, se emplearon diversas consultas como las que se señalan a continuación: participar en conversaciones sobre la sexualidad, pubertad, introducir alimentos en la boca, etc. Cada una de estas consultas se comparó con el nombre y la descripción de la aplicación a través de la Ecuación 1.

Una vez que se generó la base de conocimiento, se llevó a cabo un análisis de conglomerados (*Hierarchical Agglomerative Clustering*) y para ello se empleó la Ecuación 2. En virtud de que no es factible presentar gráficamente el

grupo completo de las 1000 aplicaciones, se seleccionaron 37 aplicaciones y con ellas se construyó el dendrograma que se ilustra en la Figura 3. Como se puede apreciar, si se realiza un corte a una distancia de 0.05 se generan 4 grupos (donde 1 de ellos está conformado por una sola aplicación, la número 11). Por ejemplo, si analizamos las aplicaciones número 28 y 24, podremos observar que comparten varias características como las que se detallan a continuación:

- Ambas se enfocan en la temática “pubertad”.
- Son del tipo diccionario gratuito de términos.
- Coinciden en el género “medicina”.
- Tiene una valoración general de 4.6 y 4.5, respectivamente.
- Pueden ser trabajadas por personas con las 4 discapacidades antes mencionadas.

Figura 3. Agrupación de las aplicaciones móviles



Por otra parte, en la segunda etapa se aplicó una encuesta que buscó determinar tres criterios relacionados con la real aplicabilidad de la propuesta en el ámbito de la educación especial: utilidad, pertinencia y coherencia. El primer criterio establece cuán oportuno es incorporar la aplicación en el proceso de intervención terapéutica, mientras que el segundo especifica si la aplicación

está acorde con los pacientes a los que se enfoca y el último criterio permite indicar si los contenidos que aborda la aplicación están de acuerdo con el plan de formación de los pacientes. Como se observa en la Tabla 1, la propuesta planteada en este artículo se considera de gran utilidad para el trabajo con personas con discapacidad.

Tabla 1. Resultados de validación del sistema propuesto

Criterio	T1	T2	T3	T4	T5	Promedio
Utilidad	4	5	4	3	4	4
Pertinencia	3	3	4	4	4	3.6
Coherencia	5	3	3	4	4	3.8

Fuente: Autores

5. DISCUSIÓN

Estos datos indican que el sistema propuesto mejora los procesos de búsqueda tradicionales de las plataformas de distribución móvil, mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial, enfocándose en la educación del cuidado personal con un promedio general de 3.8/5.0 en la valoración de los expertos.

Por otra parte, las limitaciones con las que cuenta el sistema es que soporta solo aplicaciones que estén en español, es decir solo analiza aplicaciones que estén desarrolladas en español. Dentro

del proceso de búsqueda este ingresa a cada uno de los resultados obtenidos y adicionalmente obtiene aplicaciones similares basadas en el resultado del clúster jerárquico.

Como trabajo futuro, se busca aumentar la precisión en los resultados del sistema recomendador a través de estructuras semánticas (ontologías) para proveer sentido y relaciones coherentes entre los contenidos de las aplicaciones móviles y los perfiles de los niños con discapacidad.

6. CONCLUSIONES

Los recomendadores son sistemas que aprovechan la convergencia de la Web, la Inteligencia Artificial y en algu-

nos casos los dispositivos móviles para personalizar y hacer las recomendaciones de la manera más precisa y menos

perceptible y en este estudio el sistema se orientó a los niños con discapacidad en el dominio del cuidado personal.

Además, se evidencio la utilidad que tiene los clúster jerárquicos para generar sistemas de recomendación basados en una distancia personalizada mediante la definición de una fórmula matemática. Adicionalmente, utilizando técnicas de procesamiento de lenguaje natural y máquinas de soporte vectorial

permitió mejorar los procesos de recomendación.

Por otro lado, con el uso del formato liviano JSON para el intercambio de mensajes entre el cliente móvil y el servidor permite contribuir en la mejora de los tiempos de acceso a las recomendaciones, permitiendo que puedan ser accedidos desde diferentes tipos de clientes. Por ejemplo, dispositivos móviles IOS, aplicaciones de escritorio y Web.

REFERENCIAS

- [1] "OMS | Discapacidades," Sep. 2016. [Accessed: 15-Sep-2017]
- [2] "Cuidado del cuerpo - wikinclusion." [Online]. Available: http://wikinclusion.org/index.php/Cuidado_del_cuerpo. [Accessed: 15-Sep-2017].
- [3] J. L. L. Olivencia, A. G. Plaza, and C. R. Jiménez, "SISTEMAS DE RECOMENDACIÓN PARA REALIDAD AUMENTADA EN UN SISTEMA INTEGRAL DE GESTIÓN DE DESTINOS," *REVISTA DE ANÁLISIS TURÍSTICO*, vol. 0, no. 14, pp. 69–81, 2012.
- [4] J. Lu, D. Wu, M. Mao, W. Wang, and G. Zhang, "Recommender system application developments: A survey," *Decis. Support Syst.*, vol. 74, pp. 12–32, Jun. 2015.
- [5] B. Jeon and H. Ahn, "A Collaborative Filtering System Combined with Users' Review Mining: Application to the Recommendation of Smartphone Apps," *Journal of Intelligence and Information Systems*, vol. 21, no. 2, pp. 1–18, 2015.
- [6] R. M. Frey, R. Xu, and A. Ilic, "A Novel Recommender System in IoT," in *The 5th International Conference on the Internet of Things (IoT 2015)*, 2015.
- [7] Y. Cheng and Z. Yan, "PerRec: A Permission Configuration Recommender System for Mobile Apps," in *Algorithms and Architectures for Parallel Processing*, 2017, pp. 476–485.
- [8] V. E. Robles-Bykbaev, M. López-Nores, J. J. Pazos-Arias, and D. Arévalo-Lucero, "SPELTA: An expert system to generate therapy plans for speech and language disorders," *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 21, pp. 7641–7651, Nov. 2015.
- [9] N. J. Yuan, Y. Zheng, L. Zhang, and X. Xie, "T-Finder: A Recommender System for Finding Passengers and Vacant Taxis," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 25, no. 10, pp. 2390–2403, Oct. 2013.
- [10] X. Amatriain and J. M. Pujol, "Data Mining Methods for Recommender Systems," in *Recommender Systems Handbook*, Springer, Boston, MA, 2015, pp. 227–262.
- [11] J. Bobadilla, F. Ortega, A. Hernando, and A. Gutiérrez, "Recommender systems survey," *Knowledge-Based Systems*, vol. 46, pp. 109–132, Jul. 2013.
- [12] Z. W. Ras, K. A. Tarnowska, J. Kuang, L. Daniel, and D. Fowler, "User Friendly NPS-Based Recommender System for Driving Business Revenue," in *Rough Sets*, 2017, pp. 34–48.
- [13] C. Guan and K. K. F. Yuen, "Towards a hybrid approach of Primitive Cognitive Network Process and Agglomerative Hierarchical Clustering for music recommendation," in *2015 11th International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness (QSHINE)*, 2015, pp. 206–209.

- [14] P. Symeonidis, "ClustHOSVD: Item Recommendation by Combining Semantically Enhanced Tag Clustering With Tensor HOSVD," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 46, no. 9, pp. 1240–1251, 2016.
 - [15] G. E. Chanchí, J. L. Arciniegas, and W. Y. Campo, "System of recommendations of multimedia contents for academic communities in IDT environments," *Entre Ciencia e Ingeniería*, 2015.
 - [16] G. Rojas and I. Garrido, "Toward a rapid development of social network-based recommender systems," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 15, no. 4, pp. 753–759, Apr. 2017.
 - [17] M. D. Ekstrand, M. Ludwig, J. A. Konstan, and J. T. Riedl, "Rethinking the Recommender Research Ecosystem: Reproducibility, Openness, and LensKit," in *Proceedings of the Fifth ACM Conference on Recommender Systems*, Chicago, Illinois, USA, 2011, pp. 133–140.
 - [18] "Apache Mahout: Scalable machine learning and data mining." [Online]. Available: <http://mahout.apache.org/>. [Accessed: 15-Sep-2017].
 - [19] J. J. P. Fuentes and J. E. P. Padilla, "Propuesta de un modelo arquitectónico para un sistema recomendador turístico," *Ingeniería al Día*, vol. 2, no. 1, Mar. 2016.
 - [20] P. V. Pérez and J. L. L. Olivencia, "Prototipo de sistema de recomendación grupal en un destino turístico," *ROTUR: Revista de Ocio y Turismo*, vol. 9, no. 1, pp. 62–81, Jul. 2015.
- IEEE Criteria for Class IE Electric Systems*, Estándar IEEE 308, 1969.

Autonomous aerial surveillance system

Sistema autónomo de vigilancia aérea

E. Cuzco¹, R. Samaniego²

Abstract: *This article shows the modeling and implementation of a surveillance system mounted on a quadcopter, which autonomously performs programmed patrols using UTM coordinates, and in turn can go to specific points when being called from an application installed on a telephone if it is within the radius of coverage of the base station. Information processing and decision making are performed in the base station while the quadcopter is responsible for collecting data and sending them using the Mavlink protocol, in addition it is responsible for transmitting video in real time and makes decisions when it has lost communication with the base station. As a result of the proposed work, it was possible to develop a quadcopter with a load capacity of 2.5 kg, the analysis of the kinematics of translation shows that the chassis designed to stabilize in times shorter than 3s, which indicates a high level of control and stability during flight, in relation to the precision with respect to the ideal trajectory, the quadcopter has a margin of error of less than 2% which, expressed in distance, corresponds to a range between 1 and 2 m with respect to the ideal trajectory.*

Keywords: *quadcopter, surveillance, autonomous, Mavlink.*

Resumen: El presente artículo muestra el modelamiento e implementación de un sistema de vigilancia montado sobre un cuadricóptero, que de manera autónoma realiza patrullajes programados utilizando coordenadas UTM, y a su vez está en capacidad de acudir a puntos específicos al ser llamado desde una aplicación instalada en un teléfono móvil, siempre que este se encuentre dentro del radio de cobertura de la estación base. El procesamiento de la información y la toma de decisiones se realizan en la estación base mientras que el cuadricóptero se encarga de recoger datos y enviarlos utilizando el protocolo Mavlink, además se encarga de transmitir video en tiempo real y toma decisiones cuando ha perdido la comunicación con la estación base. Producto del trabajo propuesto, se logró desarrollar un cuadricóptero que tiene una capacidad de carga de 2,5 kg., el análisis de la cinemática de traslación muestra que el chasis diseñado logra estabilizarse en tiempos menores a 3s lo que denota un alto nivel de control y estabilidad durante el vuelo, en relación con la precisión con respecto a la trayectoria ideal, el cuadricóptero presenta un margen de error menor al 2% que expresado en distancia corresponde a un rango entre 1 a 2 m respecto a la trayectoria ideal.

Palabras clave: cuadricóptero, vigilancia, autónomo, Mavlink.

-
- 1 Edgar Giovanni Cuzco, Ingeniero en Electrónica y Control, Docente de la Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, gcuzco@unach.edu.ec
 - 2 Raúl Arturo Samaniego, Tesista, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, rsamaniego.fie@unach.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

La investigación y el desarrollo de vehículos aéreos no tripulados y micro vehículos aéreos se encuentran en auge, debido a su amplio campo de aplicación, que va desde aplicaciones para radio aficionados hasta los que se emplean en operaciones militares.

Debido a su concepción, el cuadricóptero está diseñado para reducir sus dimensiones tanto en tamaño como en peso, motivo por el cual el cuadricóptero elimina la necesidad de poseer un piloto a bordo, estas características le dan la posibilidad de acceder a lugares donde los vehículos aéreos con piloto a bordo les resultaría imposible acceder.

Este tipo de aeronaves cambia de dirección manipulando la velocidad de las hélices que producen el empuje de cada uno de los cuatro motores que están sujetos a la estructura, por lo que un cuadricóptero puede ser visto como un sistema en el que existen cuatro fuerzas de entrada provenientes de cada uno de los rotores y 6 estados de salida (x , y , z , θ , ψ , ω). La posición del centro de masa es representada por un sistema de coordenadas en X , Y y Z con relación al chasis, mientras que los ángulos de Euler están representados por: θ , ϕ y ψ , que representan la rotación de cuadricóptero alrededor a cada uno de los ejes [1].

Para comandar los VANT, típicamente se hace uso de un radio control, lo que significa que el vehículo es completamente dependiente de un constante control y monitoreo por parte de un

operario. Para lograr mantener el vuelo se requiere de un piloto con gran experiencia y habilidad en esta tarea.

En algunos vehículos, los controles ingresados por el operador se han convertido en ajustes encargados de comandar el rumbo de las aeronaves. Este principio es conocido como *fly-by-wire* [2]. Haciendo uso de este principio el vehículo obtiene un alto grado de autonomía en comparación a los vehículos comandados por control remoto, pero siguen dependiendo de una supervisión por parte de un operador. Un ejemplo de sistemas *fly-by-wire* puede observarse en los jets de combate como el F-18 Hornet, el cual es capaz de auto estabilizarse en caso de que el piloto deje de manipular los controles; sin embargo, necesita de la asistencia del piloto para tareas como dirigirse a un punto en específico.

Para considerar que un VANT es autónomo, este debe tener incorporado un sistema de inteligencia de navegación y control que le dé la capacidad de ser operado por si solo es decir poder realizar tareas como despegue, aterrizaje, dirigirse hacia un lugar deseado y además el vehículo puede ser operado mediante simples comandos e instrucciones [3].

Una aplicación de este tipo de sistemas es presentada en [4]. En este trabajo, se definen modos de vuelo como: hover, cruise, stabilize, etc. Después de que se ha enviado el plan de vuelo a la aeronave, este se ejecuta haciendo cam-

bios en los modos de vuelo realizados desde la estación base.

Según la revisión de la literatura especializada, no se muestra evidencia de otros trabajos integrales orientados a cumplir tareas de video vigilancia autónoma y que además estén en capacidad de comunicarse con dispositivos móviles.

El objetivo de este proyecto es el desarrollo de un sistema de vigilancia

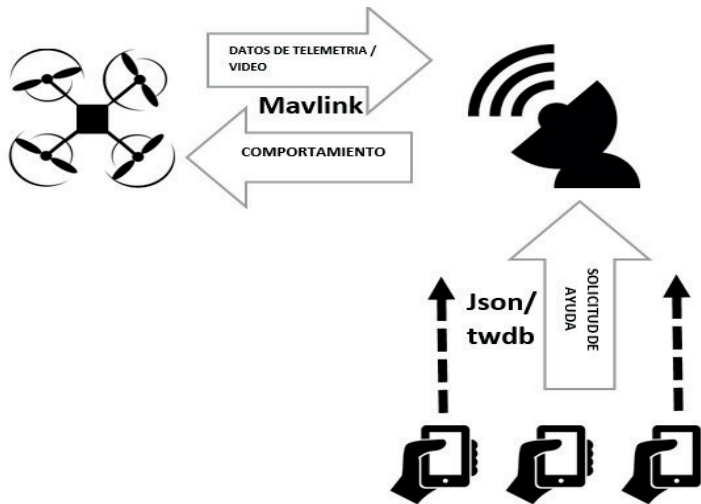
que utiliza un cuadricóptero que realizará misiones de patrullaje autónomo y transmitirá video en tiempo real hacia una estación base localizada en tierra; la estación base se encarga de gestionar las trayectorias de patrullaje, tomar decisiones sobre el comportamiento del cuadricóptero y monitorear el estado del botón de pánico instalado en múltiples dispositivos móviles que utilicen el sistema operativo Android.

2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Para lograr el objetivo planteado es necesario esquematizar el proyecto para definir los módulos que componen el sistema, la Figura 1 muestra en forma

general cada uno de los componentes necesarios para que el sistema cumpla con los objetivos planteados.

Figura 1. Arquitectura del sistema



Fuente: Autores

La arquitectura del sistema propuesta en la Figura 1, muestra la necesidad de mantener el intercambio de informa-

ción de manera constante y fluida hacia la estación base, motivo por el cual es necesario desarrollar una interface

que minimice los tiempos de bloqueo durante la etapa de recolección de datos ya sea desde el cuadricóptero o el Smartphone. Para poder satisfacer esta condición, la interfaz está desarrollada sobre Python, que posee la característica de ser un lenguaje asíncrono, esto significa que las llamadas de las funciones se realizan de manera indistinta teniendo como resultado una interfaz inmune a los bloqueos debido a que los procesos de solicitud de información desde la estación base hacia el resto de componentes del sistema se realiza en segundo plano.

Al tener una capacidad limitada de procesamiento a bordo del cuadricóptero, se requiere tener un canal de comunicación el cual mantenga la información actualizada en tiempo real entre el vehículo y la estación base. La comunicación se encuentra basada sobre el protocolo Mavlink, el cual es comprendido de manera nativa por la tarjeta controladora de vuelo.

2.1 Modelamiento y simulación del chasis

Para desarrollar sistemas de control precisos para la plataforma del cuadricóptero, es necesario analizar las ecuaciones del movimiento que definen el sistema, el cuadricóptero se define por un conjunto de ecuaciones no lineales que dificultan la simulación precisa y el control.

Una vez que se desarrollan todos los elementos de las ecuaciones, es posible simplificar las ecuaciones del movimiento, después de hacer varias

suposiciones sobre el método en el que el vehículo será operado. El objetivo es hacer un modelo que sea simple y al mismo tiempo lo más realista posible.

Un cuadricóptero funciona con el concepto de torques y empujes variables. Cada rotor se compone de un motor generalmente brushless y una hélice con paso fijo. Los motores están dispuestos en pares a lo largo de los ejes horizontal y vertical, el par vertical se encuentra girando en el sentido de las agujas del reloj mientras que el par horizontal girando en sentido antihorario. Este diseño da como resultado que los torques de reacción de los pares de motores estén exactamente opuestos entre sí, si todos los rotores están girando a la misma velocidad. La eliminación del momento de rotación permite que el vehículo mantenga un rumbo constante durante el vuelo.

La estructura básica del cuadricóptero utilizada para el desarrollo del modelo se muestra en la Figura 2, en la que se representan los ángulos roll, pitch y yaw, el sistema de coordenadas del chasis representado por $\{b\}$ y el sistema de coordenadas globales representado por $\{G\}$. Para simplificar el análisis de la cinemática del cuadricóptero, el sistema estará basado en varios supuestos:

- La estructura del cuadricóptero es un cuerpo rígido y simétrico con su centro de masa alineado con el centro del chasis del vehículo.
- El empuje de los motores es proporcional al cuadrado de la velocidad de los motores.

- Las hélices se consideran que son rígidas, es decir se consideran despreciable las deformaciones producidas al girar a elevadas revoluciones.
- Las corrientes de viento circundantes son despreciables.
- El área de despegue es plana y estática.

Figura 2. Sistemas de referencia considerados en el cuadricóptero



Fuente: Autores

La Tabla 1 muestra la lista de las variables de estado que se tomaran en cuenta para el modelamiento del sistema, esta notación está basada en el sistema de coordenadas NED. La posición del vehículo está dada en el sistema de coordenadas globales mientras que la velocidad y la velocidad angular están definidas dentro del sistema de coordenadas del chasis. Es importante distinguir en cual sistema de referencia actúan cada uno de los sensores, por ejemplo, el sensor GPS, mide la posición del cuadricóptero en el sistema de referencia global, mientras que los acelerómetros y giroscopios realizan las mediciones en el sistema de referencia del chasis.

Tabla 1. Variables de estado para el análisis del cuadricóptero

Variable	Descripción
X^G	Posición (Norte) del cuadricóptero en las coordenadas globales (m)
Y^G	Posición (Este) del cuadricóptero en las coordenadas globales (m)
Z^G	Posición (Abajo) del cuadricóptero en las coordenadas globales (m)
x^b	Posición (Norte) del cuadricóptero en las coordenadas del chasis (m)
y^b	Posición (Este) del cuadricóptero en las coordenadas del chasis (m)

Variable	Descripción
z^b	Posición (Abajo) del cuadricóptero en las coordenadas del chasis (m)
Φ	El ángulo roll sobre x^b (radianes)
Θ	El ángulo pitch sobre y^b (radianes)
Ψ	El ángulo yaw sobre z^b (radianes)
P	Velocidad angular de roll (radianes/segundo)
Q	Velocidad angular de pitch (radianes/segundo)
R	Velocidad angular de yaw (radianes/segundo)

Fuente: Autores

2.2 Cinemática de traslación

Las variables de estado de la velocidad se encuentran en las coordenadas del chasis y las variables de la posición se encuentran en las coordenadas globales, es por esta razón que es neces

rio definir una matriz de rotación para transformar estas variables entre los distintos sistemas de coordenadas.

Para hallar las coordenadas NED del chasis a partir de las coordenadas globales hacemos uso de la ecuación 1.

$$x^b = R_G^b X^G = R(\varnothing)R(\theta)R(\varphi)X^G \tag{1}$$

En donde:

$$x^b = R_G^b X^G = R(\varnothing)R(\theta)R(\varphi)X^G \tag{2}$$

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & -sen(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ sen(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$R(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi) & sen(\phi) \\ 0 & -sen(\phi) & \cos(\phi) \end{bmatrix} \tag{4}$$

2.3 Cinemática rotacional

Dado que las velocidades angulares están definidas en el sistema de coordenadas del chasis y los ángulos de Euler se encuentran representados a través del sistema de coordenadas globales, es posible usar la derivada de la matriz de rotación

con el objetivo de determinar la relación entre la velocidad angular y la derivada de los ángulos de Euler con respecto al tiempo. Las velocidades angulares son vectores que apuntan a lo largo de cada uno de los ejes de rotación y no son iguales a la derivada de los ángulos de Euler.

$$\omega = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = R(\phi) R(\theta) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + R(\phi) \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\omega = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & \cos(\phi) & \sin(\phi)\cos(\theta) \\ 0 & -\sin(\phi) & \cos(\phi)\cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$S^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & \sin(\phi)\tan(\theta) & \cos(\phi)\tan(\theta) \\ 0 & \cos(\phi) & -\sin(\phi) \\ 0 & \frac{\sin(\phi)}{\cos(\theta)} & \frac{\cos(\phi)}{\cos(\theta)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

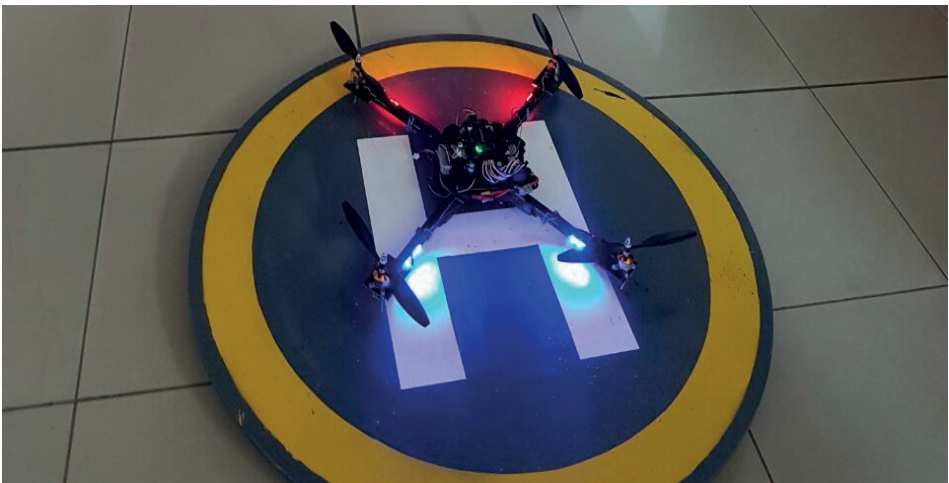
$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin(\phi)\tan(\theta) & \cos(\phi)\tan(\theta) \\ 0 & \cos(\phi) & -\sin(\phi) \\ 0 & \frac{\sin(\phi)}{\cos(\theta)} & \frac{\cos(\phi)}{\cos(\theta)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (8)$$

2.4 Diseño del cuadricóptero

Para maximizar el tiempo de vuelo, el cuadricóptero está concebido con la idea de ser lo más liviano posible, motivo por el cual requiere llevar a bordo únicamente los componentes mínimos necesarios para poder mantener el vue-

lo y transmitir los datos a la estación base que es en donde se realiza el procesamiento de la información y la toma de decisiones. La Figura 3 muestra el prototipo de cuadricóptero construido para esta investigación y la Tabla 2 detalla sus componentes.

Figura 3. Prototipo de cuadricóptero construido



Fuente: Autores

Tabla 2. Componentes del cuadricóptero

Parte central del chasis	3 placas de fibra de vidrio
Brazos	4 brazos de aluminio
Controlador de vuelo	RadioLink Pixhawk PX4 32 Bit ARM
Sistema de comunicación	915 Mhz Telemetry kit
Motorización	4 brushless a2212 13T @ 1000 kv
Hélices	10x4,5"
ESC	Emax 4 in 1 25A ESC
GPS	NEO-M8N
Batería	Floureon LiPo 3s 5500 mAh
Transmisor de video	BossCam 600 mw
Peso total	1.225 kg.

Fuente: Autores

2.5 Estación Base

Al tener una limitada capacidad de procesamiento a bordo del cuadricóptero, el sistema requiere de una estación que será la encargada de procesar los datos de telemetría, monitorear el estado del botón de pánico instalado en el smartphone y de enviar las instrucciones necesarias para que el cuadricóptero realice las tareas encomendadas. La comunicación entre el cuadricóptero y la estación base se encuentra desarrolla-

da sobre el protocolo MAVlink, el cual es interpretado nativamente por la tarjeta controladora de vuelo. Este enlace es de tipo full dúplex, desde el cuadricóptero se envían los datos de telemetría que incluyen estados del IMU, posición global, voltaje de la batería etc; por parte de la estación base se envían puntos de destino y el modo de operación del cuadricóptero. Las características del enlace cuadricóptero-estación base se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características del enlace cuadricóptero-estación base

Frecuencia de operación	915 Mhz
Potencia de transmisión	20 dBm
Modo de transmisión	Transparente
Data rate	56 kbps
Protocolo	MavLink

Fuente: Autores

Para monitorear el estado del botón de pánico es necesario establecer un canal de comunicación con la estación base, tomando en cuenta la naturaleza móvil y el fácil acceso a internet de los smartphones, se implementó el canal sobre la nube de internet; desde el smartphone se envían las coordenadas de posición y una bandera que indica si se requiere del cuadricóptero o no. Esta información es almacenada en una

base de datos web, a la cual accede la estación base para consultar y tomar la decisión de enviar el cuadricóptero en caso que así se requiera. El intercambio de información a través de la nube genera retardos, por lo que los datos se transmitirán utilizando el formato JSON que se caracteriza por ser ligero y compatible con la mayoría de lenguajes de programación.

3. RESULTADOS

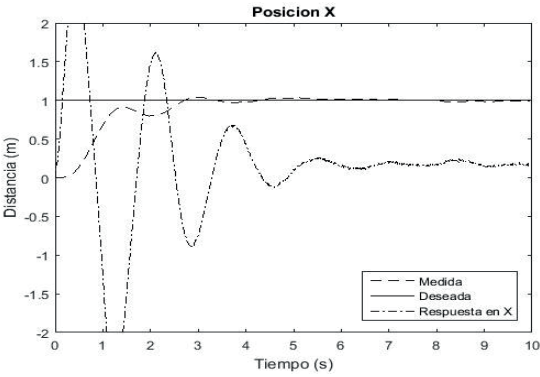
Teniendo en cuenta las ecuaciones presentadas en el apartado 2 de este artículo para simular el comportamiento en vuelo del cuadricóptero, se realizó el modelamiento matemático utilizando Matlab, para lo que se implementó una interfaz gráfica que visualiza el comportamiento de la aeronave bajo los supuestos considerados con anterioridad.

La Figura 4 muestra el comportamiento del cuadricóptero desde el despegue hasta que logra mantener un estado de vuelo estacionario en referencia al sistema de coordenadas globales. La gráfica a) y b) muestran que el cuadricóptero en los ejes X y Y logra una estabilización en un tiempo de 3 segundos,

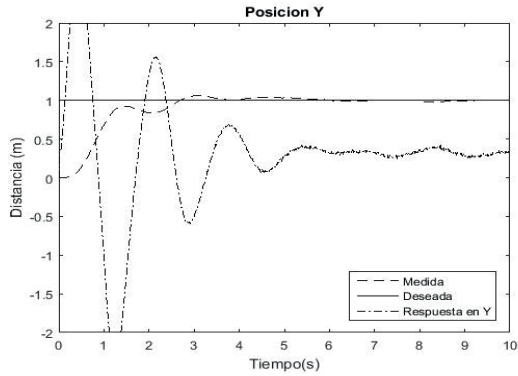
esto se debe a la simetría que tiene el chasis en relación con estos 2 ejes.

La gráfica c) muestra el comportamiento correspondiente a la altura que desea ser mantenida, en relación a los ejes X,Y. En el eje Z, la gráfica denota una menor variación en la respuesta que tiene que ejercer el cuadricóptero para alcanzar la altura deseada debido a que para mantener su altura, es necesario mantener la misma velocidad en todos los motores, cosa que no sucede a lo largo de los otros ejes, en donde para lograr un equilibrio se requiere un constante cambio de velocidad en cada uno de los motores hasta equilibrar las fuerzas.

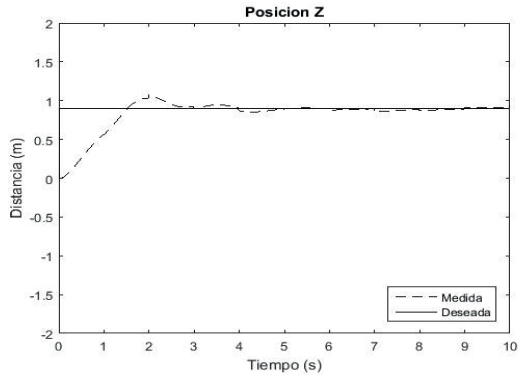
Figura 4. Análisis de la posición en: a) eje X, b) eje Y, c) eje Z



a)



b)



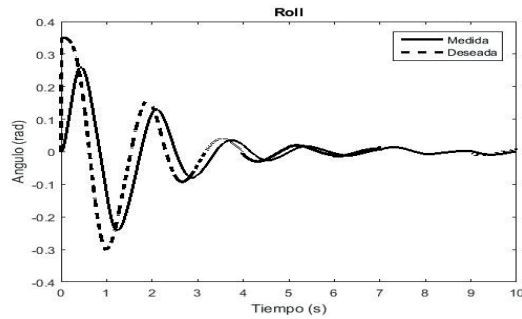
c)

Fuente: Autores

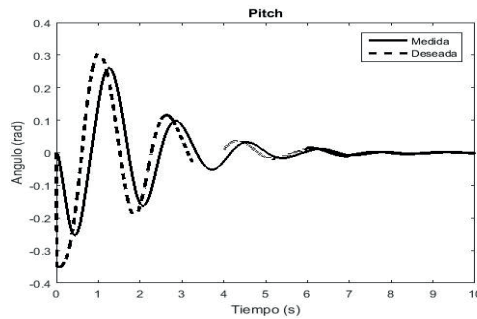
En cuanto a los ángulos de Euler, las gráficas de la Figura 5 demuestran un mayor esfuerzo para equilibrar los ángulos Roll (gráfica a) y Pitch (gráfica

b). Por su parte, el Angulo Yaw (gráfica c) muestra variaciones que no superan a los 2 grados de inclinación.

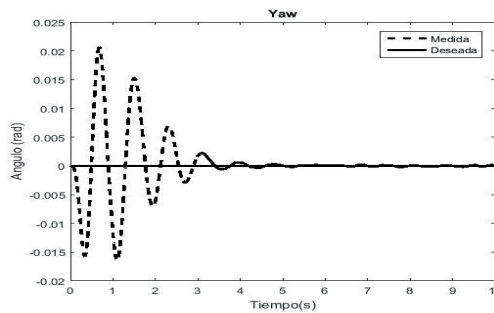
Figura 5. Análisis de los ángulos de Euler: a) Roll, b) Pitch y c) Yaw



a)



b)



c)

Fuente: Autores

De acuerdo con el plan propuesto, el resultado final de este documento conduce al desarrollo de una plataforma capaz de comandar autónomamente el cuadricóptero que gracias al análisis inicial logra tener un vuelo estable.

Una vez realizado el análisis del comportamiento en el simulador, se

obtuvieron los valores con los cuales debería contar la estructura del chasis del cuadricóptero para poder realizar un vuelo estable priorizando la eficiencia energética y maximizando el tiempo de vuelo. Tales valores se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de chasis

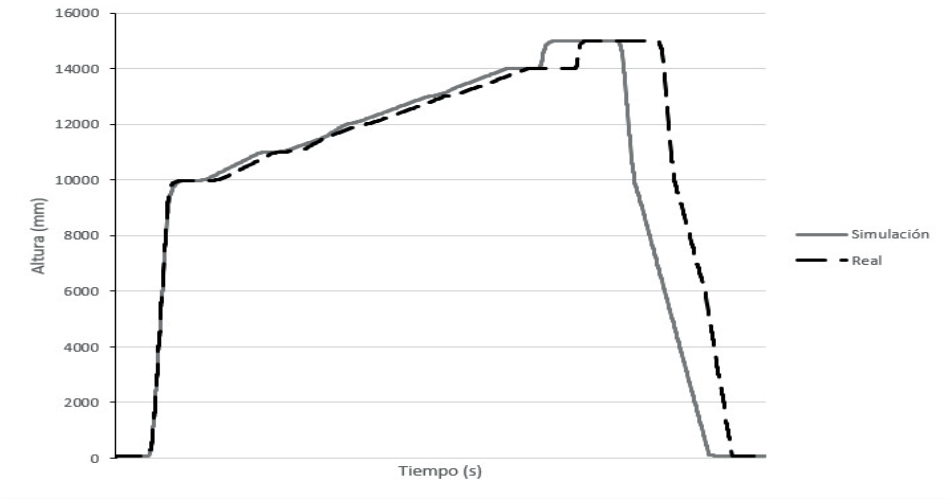
Distancia del eje del rotor – centro de masa	0,45 m
Radio de la hélice	0,127 m
Peso máximo	2,5 kg
kv	900 – 1200

Fuente: Autores

La Figura 6, muestra la comparación entre la altura obtenida en el simulador y la medida durante una misión de patrullaje, en donde se muestra un porcentaje muy alto de similitud, en cuanto

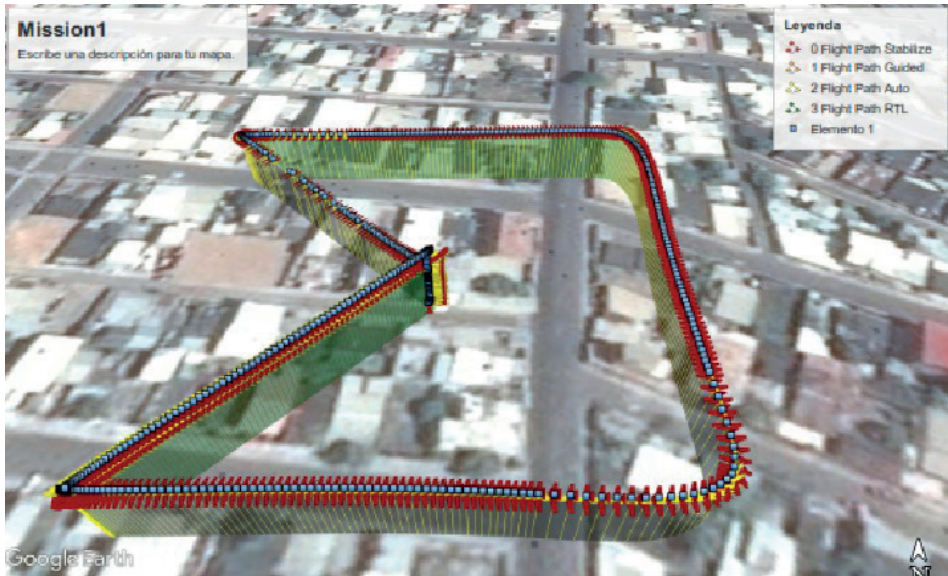
al mantenimiento de la posición sobre cada uno de los puntos geográficos y la trayectoria se encuentra distorsionada de mayor manera, como se muestra en la Figura 7.

Figura 6. Comparación de estabilidad de la altura



Fuente: Autores

Figura 7. Gráfico de la trayectoria realizada



Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

Este documento describe el diseño y la implementación de un sistema de vigilancia que utiliza una plataforma aérea que gracias al análisis realizado inicialmente permitió construir un chasis con las características de control y estabilidad necesarias para poder transmitir video de manera clara, gracias al análisis también se logró estimar el peso máximo con el que la aeronave podría levantar el vuelo, en cuanto al sistema de comunicación y control del cuadricóptero se tuvo que sortear con varios problemas ocasionados por el retardo producido principalmente en los procesos encargados de monitorear el

estado del smartphone, estos tiempos de retardo fueron minimizados aplicando técnicas de programación conocidas como threadings, que generan procesos en segundo plano que no afectan a la ejecución general del programa.

Como trabajo futuro, se podría implementar una red de sensores capaces de detectar obstáculos en la trayectoria y así poder generar caminos alternos hacia el objetivo en caso de presentarse estas situaciones, otra línea de investigación podría consistir en implementar una red de comunicaciones para poder desplegar más de un cuadricóptero a la vez.

REFERENCIAS

- [1] L. Sevilla Fernández, Modelado y control de un cuadricoptero, Madrid, 2014.
- [2] NASA, “NASA - Digital Fly By Wire.,” 12 03 2017. [En línea]. Available: https://www.nasa.gov/vision/earth/improvingflight/fly_by_wire.html.
- [3] O. e. a. Gordon Ononiwu, “Design and Implementation of a Real Time Wireless Quadcopter for Rescue,” *American Journal of Engineering Research*, 2016.
- [4] L. B. V. G. H. B. Gutierrez, “A Hierarchical/Intelligent Control Architecture for Unmanned,” *11th Mediterranean Conference on Control and Automation*, 2011.
- [5] P. McKerrow, “Modelling the Draganflyer four rotor helicopter,” *IEEE International Conference on*, 2014.
- [6] N. B. K. T. W. James K. Hall, “Quaternion Attitude Estimation for Miniature Air Vehicles Using a Multiplicative Extended Kalman Filter,” *Brigham Young University*, 2015.
- [7] G. R. D. W. S. Hoffmann, “The stanford testbed of autonomous rotorcraft for multi agent control,” *Digital Avionics Systems Conference*, 2011.

An information security approach in the Armed Forces of Ecuador

Un enfoque de la seguridad de la información en las Fuerzas Armadas del Ecuador

J. Guamán¹, M. Toapanta², J. Orizaga³

Abstract: *The problems of information security in the military institutions of the Joint Command of the Armed Forces were analyzed. The objective is to carry out an information security approach in the Armed Forces of Ecuador". The method that was used to carry out the exploratory research is the deductive. Data collection was performed through direct observation and a survey directed to the personnel of the Armed Forces according to their categories. The analysis and interpretation of the data according to the ISO / IEC 27001: 2013 standard and the theoretical bases that supported the research resulted from this investigation. It was concluded that the Joint Command of the Armed Forces of Ecuador does not have an Information Security Management System to safeguard the information assets that the institution possesses, which makes it difficult to maintain and protect the information. At the same time, corrective measures are proposed in order to strengthen the security of the Information in this distinguished institution.*

Keywords: *security risks, information security, military security, information management, data-base security.*

Resumen: Se analizaron los problemas de seguridad de la información en las instituciones militares del Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas con el objetivo de verificar el enfoque de la seguridad de la información. El método utilizado en esta investigación exploratoria fue el deductivo. La recopilación de datos relevantes fue realizada mediante una encuesta dirigida al personal de Fuerzas Armadas según sus categorías y también por observación directa. Resultó de esta investigación el análisis e interpretación de los datos en función de la norma ISO/IEC 27001:2013 y las bases teóricas que sustentaron la investigación. Se concluyó que el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas del Ecuador no dispone de un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información para resguardar los activos de información que posee la institución, lo que dificulta mantener y proteger la información. A su vez, se proponen medidas correctivas alineadas a robustecer la seguridad de la Información en esta insigne Institución.

Palabras clave: riesgos de seguridad, seguridad de la información, seguridad militar, gestión de información, seguridad de base de datos.

-
- 1 Joseph Alexander Guamán Seis, Máster en Gestión de las Comunicaciones y Tecnologías de la Información, MSc., Jefe de las TIC del C3I2-COMACO, Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas del Ecuador, Postulante al Doctorado en Tecnologías de Información Universidad de Guadalajara-México, jguaman@armada.mil.ec.
 - 2 Segundo Moisés Toapanta Toapanta, Máster en Gestión de las Comunicaciones y Tecnologías de la Información, MSc, alumno del Doctorado en Tecnologías de Información de la Universidad de Guadalajara-México, Profesor de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, Investigador Evaluador Senescyt, Investigador Acreditado y Categorizado por la Senescyt REG-INV-16-0153, stoapanta@ups.edu.ec.
 - 3 José Antonio Orizaga Trejo, Doctor en Tecnologías de Información IT Ph.D., Profesor Investigador, Departamento Sistemas de Información, CUCEA Universidad de Guadalajara-México, jose.orizaga@academicos.udg.mx.

1. INTRODUCCIÓN

Los bajos controles de seguridad de la información en las instituciones militares del Ecuador, son la causa principal para que se detecten errores y serios problemas de seguridad, esto facilita el aumento desmesurado de los índices de delitos informáticos.

Hoy en día, uno de los temas de mayor importancia es la seguridad de la información, más aun en las Fuerzas Armadas del Ecuador (FF.AA.), Institución que maneja información militar secreta y clasificada.

Debido a que las amenazas provienen de diversos orígenes, algunos sin poder ser anticipados, se tiene la necesidad de realizar un análisis de seguridad de la información para precautelar los datos tan sensibles que maneja la Institución Armada.

Las FF.AA., posee el Sistema de Comunicaciones Militares, que es una infraestructura informática que interconecta a los repartos navales y militares de las Fuerzas Armadas, que es utilizada para transmitir información (voz, datos y video), servicios automatizados y sistemas corporativos [1].

La utilización de los servicios y sistemas corporativos a través del Sistema de Comunicaciones Militares y el acceso indebido a la información en determinadas redes locales, requieren la implementación de diferentes mecanismos de seguridades para el uso de estos servicios por los usuarios de los repartos navales y militares.

En ocasiones se han detectado accesos indebidos a las redes administrativas debido a los diferentes puntos de internet que existen, la falta de implementación de políticas de seguridad y mecanismos para ejecutar estas políticas, la inobservancia de los riesgos y la falta de controles apropiados para preservar la confidencialidad, la integridad y la disponibilidad (CID) de la información; así, como el limitado personal especializado existente para implementar tales políticas.

Es necesario realizar un análisis de seguridad, para mitigar los riesgos físicos y lógicos de la información que se transmite, procesa, almacena y distribuye a través del Sistema de Comunicaciones Militares, para la utilización de los servicios y sistemas por los usuarios de los repartos militares y navales.

La definición de un enfoque de seguridad de la información que maneja las FF.AA. a través de sus sistemas, permitirá que los riesgos de la seguridad de la información sean asumidos, gestionados y minimizados de forma objetiva, documentada y estructurada, con la finalidad de garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información [2]. Además se facilitaría la aplicación de controles, el establecimiento de nuevas políticas de seguridad, reglas, planes y acciones para asegurar la información y mejorar la gestión de la seguridad.

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión del enfoque de la seguri-

dad de la información en FF.AA. del Ecuador, que permita definir estándares internacionales adecuados al campo mi-

litar y nuevas tecnologías de la información y comunicaciones.

2. MÉTODOS

La investigación parte desde un enfoque predominantemente cuantitativo bajo modalidades de investigación de campo y bibliográfica-documental, con un tipo de investigación exploratoria-descriptiva que será aplicada en el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas (COMACO).

La técnica utilizada para obtener la información fue la encuesta, la misma permitió la recolección de información en forma directa a fin de diagnosticar como se encuentra la seguridad de la información en las FF.AA. [3].

Las preguntas de la encuesta cubrieron todos los aspectos de riesgos y amenazas a la confiabilidad, integridad y la disponibilidad de la información y están basadas en los requerimientos de las FF.AA. y los objetivos de control de la ISO 27001: 2013 [1] que son:

1. Políticas de seguridad de la Información
2. Organización de la Seguridad de la Información
3. Seguridad de los Recursos Humanos
4. Gestión de los Activos
5. Control de Acceso
6. Criptografía
7. Seguridad Física y Medioambiental
8. Seguridad de las Operaciones
9. Seguridad de las Comunicaciones

10. Adquisición, desarrollo y mantenimiento del sistema
11. Relación con los proveedores
12. Gestión de los incidentes de Seguridad de la Información
13. Gestión de los aspectos de Seguridad de la Información para la continuidad del negocio
14. Cumplimiento

Para determinar la validez del instrumento se utilizó la técnica de juicio de expertos en el área de conocimiento, quienes a través de un formato de validación pudieron modificar la redacción de los ítems buscando obtener mayor claridad, congruencia y pertinencia antes de ser aplicado definitivamente a los sujetos de la muestra.

La confiabilidad del instrumento se determinó mediante su aplicación previa a un grupo piloto de 51 personas que laboran en las FF.AA. tomados al azar como resultado de un muestreo aleatorio simple.

Los resultados obtenidos se procesaron estadísticamente mediante el método Alpha de Cronbach. Este índice de confiabilidad debe ser menor o igual a la unidad para que el valor indicativo del instrumento posea un alto grado de consistencia interna [4].

Una vez que se ha obtenidos los resultados, producto de la aplicación del instrumento se procedió a su ordenación para analizarlos mediante el uso de bases estadísticas de frecuencias y porcentajes, complementados con cuadros y gráficos estadísticos con sus respectivos análisis.

La información recopilada fue tabulada según las categorías de respuestas: S = Siempre, CS = Casi Siempre, AV = Algunas Veces, CN = Casi Nunca y N = Nunca, según una escala tipo Likert, donde el valor uno (1) es asignado a N (Nunca) y el máximo valor de cinco (5) a S (Siempre) [5].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tomando en consideración los objetivos de la investigación y el análisis e interpretación de las respuestas dadas por los sujetos de estudio en el instrumento aplicado y las observaciones hechas directamente en relación a los requerimientos de la institución, los resultados del estudio son las siguientes:

En la cláusula Políticas de seguridad de la información, en las FF.AA. existe una Directiva de Seguridad de la Información, con políticas emitidas y socializado por el Comando de Ciberdefensa a las Direcciones de Tecnologías de la Información y Comunicaciones del COMACO, para su implementación y cumplimiento.

En la cláusula Seguridad de los recursos humanos, se lleva a cabo la verificación de los antecedentes de todos los candidatos al empleo por el departa-

Con el objeto de visualizar en forma rápida los resultados se agruparon con relación a las dimensiones señaladas en la definición operacional de los aspectos a investigar y representados gráficamente de acuerdo a las alternativas seleccionadas de los 25 objetivos de control y cada una de las dimensiones.

Posteriormente, se completó este proceso con un análisis e interpretación de los datos en función de la norma ISO/IEC 27001:2013 y las bases teóricas que sustentaron la investigación.

mento correspondiente, pero no existe un proceso disciplinario formal para los empleados que cometan un incumplimiento de seguridad.

En la cláusula Gestión de los incidentes de seguridad de la información, existen procedimientos validados y que están en proceso de certificación, para garantizar una respuesta rápida, efectiva y adecuada a los incidentes de seguridad de la información. Existen registros de los incidentes de seguridad y se emiten reportes de debilidades sospechadas en los sistemas. Se lleva un registro de cómo se han abordado estas irregularidades, para replicar las buenas prácticas en incidentes similares que pudieran ocurrir en el futuro.

Respecto a la cláusula Cumplimiento, falta documentación de los sistemas de información, pero sí se cuenta con

documentación técnica y licencias de Software, a la vez que los archivos de información de cada una de las oficinas presentan buena protección.

En función de los resultados anteriores, los autores proponen las siguientes medidas:

1. Realizar un documento oficial que acoja las políticas de seguridad de la información, las mismas que deberán ser revisadas y conocidas por el personal de las FF.AA.
2. Llevar un registro de la verificación de los antecedentes de todos los candidatos que van a ingresar a laborar en la institución, a fin de realizar un proceso disciplinario formal

para los empleados que cometan un incumplimiento de seguridad.

3. Revisar periódicamente la política de control de acceso, a través de un procedimiento formal para restringir el uso de programas utilitarios.
4. Supervisar el desarrollo y mantenimiento del sistema verificando los requisitos de control de seguridad en los sistemas de información.
5. Supervisar los procedimientos para garantizar una respuesta rápida, efectiva y adecuada a los incidentes de seguridad de la información, mediante los registros de los incidentes de seguridad y los reportes de debilidades sospechadas a los sistemas a fin de precautelar la seguridad.

4. CONCLUSIONES

Esta investigación buscó verificar el estado de la seguridad de la información en las FF.AA. Para ello se realizó una encuesta en función de los objetivos definidos en el estudio, aplicando un cuestionario estructurado con preguntas cerradas que cubren todos los aspectos de riesgos, incluso las amenazas a la confiabilidad, integridad y disponibilidad (CID) de los datos basada en los objetivos de control de la ISO 27001:2013.

Una vez concluido el estudio, se identificó que las FF.AA. necesitan implementar un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información para resguardar los activos de información que posee la institución, para mantener y proteger la información.

Como parte de este trabajo se sugieren una serie de medidas que están alineadas al robustecimiento de la seguridad de la información en las FF.AA.

La Institución armada debe desarrollar un modelo conceptual de seguridad de la información para identificar las vulnerabilidades, riesgos de la información y definir políticas y mecanismo de seguridad a nivel estratégico, táctico y operativo con Identidad, Autenticación, Autorización, Auditoría (IAAA) y Confidencialidad, Integridad, Disponibilidad (CID) para mitigar la seguridad de la información de las Fuerzas Armadas del Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al grupo de investigación de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil “Computing, Security and Information Technology for a globalized World” (CSITGW) creado según resolución 142-06-2017-07-19, CUCEA-Universidad de Guadalajara, Jalisco, México,

Programa IT Ph.D Information Technologies, Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas del Ecuador, Armada del Ecuador, C3I2-COMACO, Comando de Ciberdefensa del COMACO y Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt).

REFERENCIAS

- [1] P. Grupa, “ISO27000.es - El portal de ISO 27001 en español. Gestión de Seguridad de la Información,” *Copyright © 2012*, 2015. [Online]. Available: <http://www.iso27000.es/iso27000.html>.
- [2] L. Ramos, “SEGURIDAD DE LA INFORMACION,” *Gerenc. Gen. Tecnol. la Inf. Recaud. la Prov. Buenos Aires*, pp. 1–16, 2009.
- [3] A. B. Salamanca Castro and C. Martin-Crespo Blanco, “El Diseño En La Investigación Cualitativa,” *NURE Investig.*, no. 26, pp. 1–6, 2007.
- [4] R. Hernandez Sampieri, C. Fernandez Collado, and M. del P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*. 2010.
- [5] S. Gomez Bastar, *Metodologia de la investigacion*. 2012.
- [6] C. A. Dussan Clavijo, “Políticas de seguridad informática,” *Entramado*, 2006.

**SESIÓN TÉCNICA DE CIENCIA,
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
PARA LA INDUSTRIA**

Intelligent semaphores, to improve traffic in the historic center in the city of Cuenca

Semáforos inteligentes, para mejorar el tránsito en el centro histórico en la ciudad de Cuenca

I. Cuzco¹, B. Pinos², P. Vidal³, I. Yambay⁴, W. Verdugo⁵

Abstract: *This document presents a description of the Intelligent Semaphores system, as a mechanism for traffic control and transport in its general area, involved in the solution of traffic congestion problems in the city of Cuenca-Ecuador. An art study was carried out, which was carried out through the collection of information through arduous research and an analysis of the information obtained. Examples of different control devices currently in use are also presented. For the development of our system the use of one of the branches of Artificial Intelligence, which is the Artificial vision, is proposed, which, through the implementation of OpenCV's own tools, will allow us to detect the number of vehicles accumulated in each street and in this way, decide or operate on our semaphores to allow vehicular traffic on the street designated as the most congested.*

Keywords: *Arduino, OpenCV, segmentation, Gaussian blur, intelligent semaphores.*

Resumen: En el presente documento se presenta una descripción del sistema de Semáforos Inteligentes, como mecanismo de control del tránsito y transporte en su ámbito general, involucrados en la solución de problemas de congestamiento vehicular en la ciudad de Cuenca-Ecuador. Se realizó un estudio del arte, el cual se llevó a cabo mediante la recopilación de información a través de una ardua investigación y un análisis de todos los datos obtenidos. También se presentan ejemplos de diferentes dispositivos de control que actualmente se encuentran en uso. Para el desarrollo de nuestro sistema se planteó el uso de una de las ramas de Inteligencia artificial que es la visión Artificial, la misma que mediante la implementación de herramientas propias de OpenCV nos permitirá detectar el número de vehículos acumulados en cada calle y de esta forma decidir o accionar sobre nuestro semáforo para poder permitir la circulación vehicular de la calle designada como las más congestionada.

Palabras clave: *Arduino, OpenCV, segmentación, Gaussian blur, semáforos inteligentes.*

-
- 1 Irma Cuzco Calle, estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana de la Carrera de Ingeniería de Sistemas sede Cuenca – Ecuador, Grupo de Investigación GIHP4C en Cloud Computing Smart Cities & High Performance Computing, icuzco@est.ups.edu.ec
 - 2 Blanca Pinos Figueroa, estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana de la Carrera de Ingeniería de Sistemas sede Cuenca – Ecuador, Grupo de Investigación GIHP4C en Cloud Computing Smart Cities & High Performance Computing, bpinos@est.ups.edu.ec
 - 3 Paúl Vidal Mogrovejo, estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana de la Carrera de Ingeniería de Sistemas sede Cuenca – Ecuador, Grupo de Investigación GIHP4C en Cloud Computing Smart Cities & High Performance Computing, pvidalm@est.ups.edu.ec
 - 4 Ines Yambay Aulla, estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana de la Carrera de Ingeniería de Sistemas sede Cuenca – Ecuador, Grupo de Investigación GIHP4C en Cloud Computing Smart Cities & High Performance Computing, iyambay@est.ups.edu.ec
 - 5 Walter Verdugo Romero, docente de la Universidad Politécnica Salesiana de la Carrera de Ingeniería de Sistemas sede Cuenca – Ecuador, Grupo de Investigación GIHP4C en Cloud Computing Smart Cities & High Performance Computing, wverdugor@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que afectan a la ciudad de Cuenca es la congestión vehicular, pues según datos presentados en [1], la ciudad tiene alrededor de 500.000 habitantes propietarios de un total aproximado de 100.000 vehículos. Este es el principal factor que genera congestionamiento, pues su incremento acelerado va desde 10% hasta un 12% cada año.

Como una de las soluciones que planteó el Municipio para eliminar la congestión vehicular fue la creación de un plan de movilidad, el mismo que consistía en la construcción de un tranvía. En la actualidad luego de ya estar en aplicabilidad una de las funciones correctivas ya antes mencionadas (la construcción del tranvía), se ha convertido más bien en uno de los factores claves que afecta la circulación vehicular en el centro histórico. Su construcción ha venido siendo muy interrumpida y caótica, debido a una mala planificación y posterior ejecución del proyecto, lo que ha causado retardo y problemas en la entrega.

El presente proyecto, se centrará en el diseño, elaboración e implantación de un software de simulación que nos permita observar si la propuesta planteada, servirá para mejorar la movilidad y tráfico generado dentro del centro histórico de la ciudad de Cuenca – Ecuador. El software de simulación tendrá como funcionamiento central, la gestión y sincronización de los semáforos de la ciudad de Cuenca de una manera

eficiente, sencilla y segura los semáforos colocados en el centro histórico de la ciudad.

Para ello se planteó como objetivo general, el crear un sistema de movilidad efectivo, rápido y seguro, que en medida de lo posible evite congestiones y embotellamientos, a través de la implementación de semáforos inteligentes que permitan mejorar el tráfico generado dentro del Centro Histórico en la Ciudad de Cuenca-Ecuador.

Dentro de los objetivos específicos se definieron los redactados a continuación, los mismos que contribuirán al alcance del objetivo general:

1. Realizar un estudio efectivo, referente a la movilidad tanto vehicular como peatonal y el tráfico generado en horas normales y también en horas pico, en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca- Ecuador.
2. Desarrollar un sistema de reconocimientos de vehículos en OpenCV.
3. Desarrollar un simulador físico con la implementación de una Arduino.

Los objetivos anteriormente planteados se definieron a partir del conocimiento de los antecedentes relativos al problema. Se ha podido venir observando que la ciudad de Cuenca a lo largo del tiempo ha tenido un crecimiento considerable tanto en el ámbito económico, como también en el de movilidad y patrimonio. Este proceso ha permitido la delimitación del centro histórico, el mismo que tienen una variedad de usos

de carácter administrativo, comercial, religioso y de servicio en general, constituyéndola como una de las zonas más concurridas a escala de ciudad y territorio. Este aspecto genera un movimiento pendular intenso cotidiano que se enfatiza en los accesos a la ciudad y en los accesos al centro, coincidiendo ambos en las líneas de deseo de movilidad urbana para todos los modos de transporte. Como consecuencia del crecimiento del parque automotor, otro componente de contaminación que se hace presente es el ruido producido por motores y bocinas de automóviles, principalmente en las horas de mayor afluencia de tráfico vehicular. Debido a que esta área tiene un alto valor histórico y patrimonial, requiere un adecuado uso y cuidado, una de las ideas que se han planteado es garantizar la accesibilidad universal a todo tipo de usuarios, mediante la dotación e áreas suficientes para la circulación, eliminación de barreras arquitectónicas y continuidad en el recorrido.

Es dentro de este marco, que surge la necesidad de buscar a través del uso de la tecnología una mejor distribución del tráfico vehicular, de modo que se

minimicen las colisiones, los embotellamientos, y demás problemas de tránsito existentes en la actualidad.

De este modo se podrá a más de mejorar el tráfico vehicular, lograr una menor contaminación ambiental y auditiva, al minimizar el uso excesivo del pito y además se disminuirá el estrés de todos los conductores y peatones del centro de la ciudad, ya que la circulación será más fluida con menos retardos innecesario, permitiendo de esta manera que el acceso al centro de la ciudad sea más cómodo, seguro y eficiente, logrando también mejorar el atractivo turístico a la ciudad.

Para poder iniciar con este trabajo, se realizó una investigación de la situación actual de tránsito y de las implementaciones de semáforos inteligentes que ya se han venido dando en otros lugares.

Se ha podido encontrar que uno de los principales problemas que afectan a la ciudad de Cuenca es la congestión vehicular pues su incremento acelerado va desde 10% hasta un 12% cada año. Entre los lugares y calles que se ven más afectadas por este fenómeno están:

Tabla 1. Lugares y calles afectadas

Calles	Cantidad de vehículos	Horario
Simón Bolívar	9 000	Lunes-Viernes
Huayna Cápac	53 000	Lunes-Viernes
Puente del Vado	26 000-27 000	Lunes-Viernes
Av. de las Américas	50 000	Lunes-Viernes
Av. España	25 000	Lunes-Viernes

Entre los problemas que se pueden visualizar en el tráfico del Centro Histórico de Cuenca tenemos los siguientes [3]:

- Desequilibrio en la distribución del espacio público, en el cual se prioriza la presencia del vehículo y se castiga al peatón.
- Ausencia de un modelo de transporte público que permita eliminar el solapamiento de las rutas del sistema integrado con las del convencional, y entre las que conforman este último.
- Ausencia de infraestructura que incentive la movilidad no motorizada a través de caminatas, que sea amigable con los peatones y considere a las personas con discapacidad.
- Descontrolado acceso en vehículo privado como modo de transporte, ocasionando congestión del viario e incremento de la demanda de estacionamientos públicos, que desgraciadamente está siendo absorbida en el interior de edificaciones patrimoniales.
- Incremento de tráfico de paso, por vehículos que atraviesan el Centro Histórico para “acortar distancias”.

Se encontró también un trabajo sumamente interesante en [5]. Este artículo plantea la creación de agentes autónomos e inteligentes, que sean capaces de manipular por sí mismos una infraestructura de semáforos, la misma deberá responder a las condiciones del entorno, tales como: tráfico vehicular, congestionamiento de calles o avenidas, limitaciones de las carreteras, entre muchas otras, y, a partir de ello tomar

las decisiones más efectivas, que ayuden a optimizar el tiempo y los recursos. Se provee además la metodología utilizada y experimentos realizados en una infraestructura pre-programada.

Por otro lado, una muestra implementada en tecnología libre se pudo obtener dentro de la tesis de [4], en la misma se plantea utilizar tarjetas Arduino como un controlador de tráfico vehicular. Dicha tarjeta a partir de un procesamiento digital de imágenes programado en Matlab, y con el entrenamiento en algoritmos de toma de decisiones, será capaz de brindar respuestas en tiempo real, que controlen a las diferentes señales de los semáforos, ayudado también por Matlab como software de procesamiento matemático para los cálculos necesarios en cada procedimiento que se realice.

Además de los artículos revisados, se investigó también las tecnologías apropiadas para que se pueda llevar a cabo con éxito este proyecto. Se tomó la decisión de utilizar el reconocimiento de objetos como base de este proyecto.

Uno de los aspectos más importantes de la visión artificial es sin duda el reconocimiento de objetos, de patrones, o identificación de Figuras y formas. Este reconocimiento puede ir desde ejemplos muy simples, hasta posibilidades muy complejas y útiles que aún hoy son prácticamente imposibles.

Para detectar un objeto de determinado color necesitaremos detectar todos los píxeles que lo componen. Para ello será necesario buscar en todos los

píxeles de la imagen, calculando si son o no del color deseado. [8]

Para determinar un color en primer lugar tenemos que ver qué datos característicos tiene dicho color, su dato más característico será que el canal con mayor valor será el color o los colores que estamos tratando de detectar.

También deberíamos tener en cuenta que los valores de los demás canales no deberían ser muy altos, por lo menos no lo suficiente como para acercarse al valor del canal que deseamos, ya que estos valores podrían corresponder a colores que estén en un rango similar.

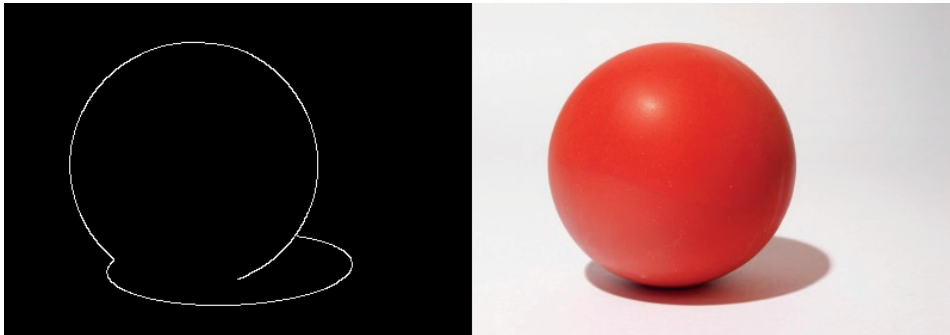
Además, se utilizará el Algoritmo de Canny, este es operador desarrollado por John F. Canny en 1986 que utiliza un algoritmo de múltiples etapas para detectar una amplia gama de bordes en imágenes.

El algoritmo de detección de bordes de Canny utiliza un filtro basado en la primera derivada de una gaussiana. Ya que es susceptible al ruido presente en datos de imagen sin procesar, la imagen original es transformada con un filtro gaussiano. El resultado es una imagen un poco borrosa respecto a la versión original. Esta nueva imagen no se ve afectada por un píxel único de ruido en un grado significativo.

La detección de bordes es una técnica muy utilizada que nos permite aislar los objetos y separarlos del fondo. Una vez obtenido los bordes, lo único que nos faltaría es detectar los diferentes contornos para poder contar los objetos.

A continuación, se puede observar un ejemplo de la aplicación de esta herramienta [9].

Figura 1. Detección de Bordes con Canny



Como ayuda para el reconocimiento de objetos se utilizará también la segmentación por color, la misma que servirá para simplificar y/o cambiar la representación de una imagen en otra más significativa y más fácil de analizar. La segmentación se usa tanto para localizar objetos como para encontrar los límites

de estos dentro de una imagen. Más precisamente, la segmentación de la imagen es el proceso de asignación de una etiqueta a cada píxel de la imagen de forma que los píxeles que compartan la misma etiqueta también tendrán ciertas características visuales similares.

El resultado de la segmentación de una imagen es un conjunto de segmentos que cubren en conjunto a toda la imagen, o un conjunto de las curvas de nivel extraídas de la imagen. Cada uno de los píxeles de una región son similares en alguna característica, como el color, la intensidad o la textura. Regiones adyacentes son significativamente diferentes con respecto a las mismas características. [10]

Como ayuda para este propósito el filtro de Gaussian Blur nos da como resultado una imagen difuminada por una función gaussiana. Es un efecto ampliamente utilizado en software gráfico, típicamente para reducir el ruido de la imagen y reducir los detalles. El efecto visual de esta técnica de borrosidad es un destello suave que se asemeja al de ver la imagen a través de una pantalla translúcida.

Dado que la transformada de Fourier de un gaussiano es otra gaussiana, la aplicación de un desenfoque gaussiano tiene el efecto de reducir los componentes de alta frecuencia de la imagen; Un desenfoque gaussiano es, por lo tanto, un filtro de paso bajo [11].

Finalmente, como hardware se utilizará una tarjeta Arduino, consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida, los cuales pueden conectarse a placas de expansión, que amplían las características funcionamiento de la placa Arduino. Asimismo, posee un puerto de conexión USB desde donde se puede alimentar la placa y establecer comunicación con el computador.

2. METODOLOGIA

2.1 Metodología RUP

La metodología RUP (Proceso Unificado Racional) Es un proceso de desarrollo de software desarrollado por la empresa Rational Software, actualmente propiedad de IBM. Junto con el Lenguaje Unificado de Modelado UML, constituye la metodología estándar más utilizada para el análisis, diseño, implementación y documentación de sistemas orientados a objetos. También se puede definir como un conjunto de metodologías adaptables al contexto y necesidades de cada organización.

2.1.1 Modelado de Negocio

Dentro de esta fase se tiene como objetivos comprender la estructura y la dinámica de la organización, analizar los problemas actuales, identificar posibles mejoras, y comprender los procesos de negocio de la organización. Utiliza el modelo CU del negocio para describir los procesos del negocio y los clientes.

2.1.2 Requisitos

En esta fase se establecen los límites del sistema que se va a desarrollar, en la cual se establecen las características que tendrá, la estimación de costos, delimitar los tiempos de desarrollo. Dentro de esta fase se definirán además los autores de cada tarea.

2.1.3 Análisis y Diseño

En esta etapa se definirá la arquitectura del sistema y se trasladará los requisitos en especificaciones de implementación. Y al decir diseño se hace referencia al análisis realizado para poder implementar los diferentes diagramas requeridos.

2.1.4 Implementación

Esta fase tiene como objetivo principal implementar las clases de diseño como componentes, se asignará componentes como nodos para probar componentes individuales, y se integrará los componentes como sistemas ejecutables.

2.1.5 Pruebas

En esta fase se verificará la integración de cada uno de los componentes de nuestro sistema, para ello se podrá realizar pruebas unitarias o pruebas de integración, esto servirá para verificar que los requisitos se han cumplido e implementado, asegurando que los defectos han sido detectados a tiempo y corregidos.

2.1.6 Despliegue

En esta fase se asegurará que el sistema desarrollado esté listo para su entrega. Para ello se podrá realizar actividades para probar el software en su entorno final, conocido como Prueba beta.

2.2 Solución

El presente proyecto se centrará en el diseño, elaboración e implantación de un software de simulación. El software de simulación tendrá como funciona-

miento central, la gestiona y sincronización de los semáforos de la ciudad de Cuenca de una manera eficiente, sencilla y segura los semáforos colocados en el centro histórico de la ciudad. Este sistema está compuesto por tres módulos los mismo con son los pilares claves para su correcto uso e implantación.

2.2.1 Módulo de Reconocimiento

de Imágenes

Para este módulo es esencial conectar la cámara Web con el lenguaje de programación a utilizar para el desarrollo de nuestro sistema, en este caso específico por cuestiones de rendimiento se ha elegido el lenguaje de C++, conjuntamente con las librerías de imagen dadas por OpenCV.

Las imágenes capturadas por la cámara serán procesadas de modo que se podrá detectar los objetos (Vehículos) de determinado color que sobresalgan dentro de la imagen que se encuentre grabando. Para ello será necesario buscar en todos los píxeles de la imagen y encontrar aquellos objetos con un color diferente al que tiene en este caso la calle. Para ello se deben establecer sus rangos de colores exactos. Para que este proceso sea más preciso y la delimitación de nuestros objetos sea casi exacta se harán usos de la segmentación por color, y el filtro de Gaussian Blur. Además, se utilizará el detector de bordes de Canny, que como ya explicamos anteriormente será de utilidad para conocer cuántos vehículos se encuentran al momento ubicados sobre la calle que se esté monitorizando.

2.2.2 Controlador

Este módulo se encarga del análisis y procesamiento de las entradas ingresadas, posteriormente se procederá a tomar una decisión en relación al análisis realizado anteriormente. Permite la conexión entre el lenguaje de programación C++ y la tarjeta Arduino.

2.2.3 Circuito del Semáforo

Como función principal de este módulo, dentro del funcionamiento de nuestro sistema se utilizará la tarjeta Ar-

duino para estructura el circuito físico, el cual podrá encargarse de controlar lo leds que simulan el funcionamiento de un semáforo. De esta manera se tratará de garantizar una movilidad más ágil que optimice tiempos y recursos, y sobre todo que soluciones los embotellamientos generados en el centro histórico principalmente en las horas pico. Además, se tratará de un software extensible, adaptable y altamente escalable, como una solución ideal para ordenar el tránsito de pequeñas, medianas y grandes ciudades.

3. RESULTADOS

La Figura 2 muestra la maqueta sobre la que se desarrolla el prototipo.

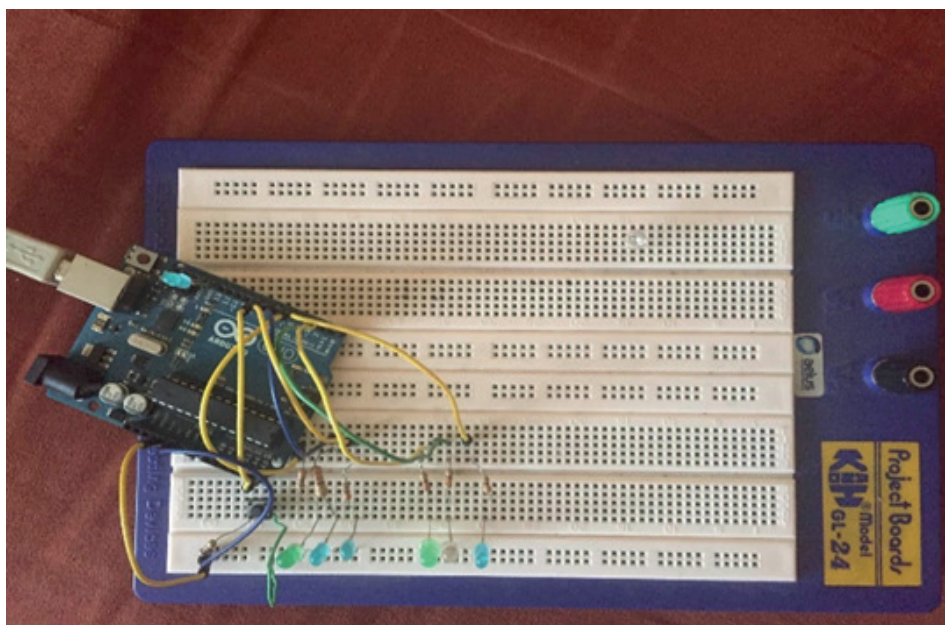
Figura 2. Maqueta



Como resultados preliminares de la realización del presente sistema simulado, hemos podido obtener los siguientes.

Se trabajó con reconocimiento de imágenes en OpenCV, dentro del cual

se aplicaron diferentes técnicas para lograr que tengan una mejor calidad, con ello pudimos obtener fotogramas de una resolución de $1280 * 720$, divididas en cuadrantes de 12 fotografías en tiempo real.

Figura 3. Circuito de comunicación con la tarjeta Arduino

El reconocimiento de contornos sobre esta base de fotografías resulta mucho más sencillo, dado que ya estamos seguros que únicamente se trata de algún tipo de vehículo en circulación, no más bien de una casa, persona o algún otro tipo de elemento, facilitando así el reconocimiento.

Se logró una transferencia de datos en tiempo real, entre el circuito físico de los semáforos y el sistema de simulación, logrando así una visualización clara de lo que está ocurriendo en el momento presente y detectando los mínimos cambios que surgen en el ambiente observado.

La respuesta de los semáforos es bastante cercana, al escenario ocurrido en el momento, viendo que se puede ir alterando el mismo, y a su vez obteniendo inmediatamente los resultados

reflejados en el control de los semáforos, y las respectivas luces que deben ser encendidas o apagadas.

Dentro del análisis que se hizo del tráfico ocasionado en el centro de la ciudad durante las horas pico, se pudo observar que las calles principales dentro de estas horas sobrepasan su límite de capacidad vehicular, causando inconvenientes en las otras vías.

Así, por ejemplo, se pudo observar como en la calle Larga y Benigno Malo se pasa de una capacidad de 15 vehículos, a un total de 20, en la calle Sangurima de forma similar se tiene una acumulación de aproximadamente 24 vehículos cuando el tope máximo se encuentra en 20.

El prototipo desarrollado minimiza este impacto logrando reducir las cifras excedentes y manteniendo un límite razonable en cada intersección, gracias

al uso inteligente de los semáforos ahí colocados.

A continuación, se puede observar el funcionamiento del sistema en fotogra-

mas, que muestran el comportamiento de las tomas realizadas por la cámara y el corte de contornos que ayuda a identificar los vehículos ubicados en las vías:

Figura 4. Escenario real en el centro histórico



Figura 5. Escenario real del centro histórico de la ciudad



Figura 6. Escenario uno de pruebas en computador

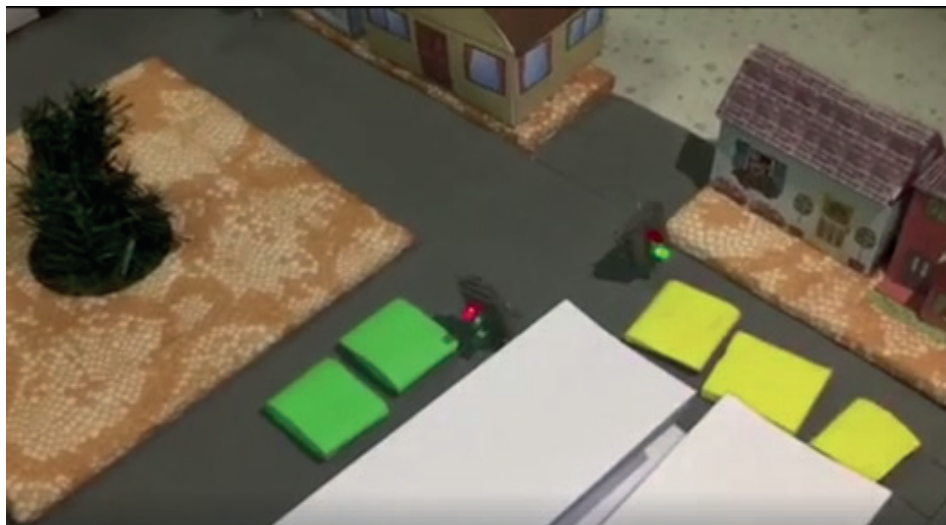
4. CONCLUSIONES

En la actualidad a nivel mundial, la optimización del tránsito y transporte, se encuentra relacionada con la implementación de sistemas tecnológicos útiles para su control como lo son Sistemas Inteligentes de Transporte, los cuales, mediante la implementación de diferentes dispositivos ubicados en calles y ca-

rreretas, intersecciones, puentes, túneles y estaciones de control, así como en vehículos de transporte público y vehículos particulares, logran que la movilidad se realice de manera eficiente, lo que permite satisfacer las necesidades de movilidad de los usuarios en forma armónica, eficiente, económica y segura.

Figura 7. Escenario dos de pruebas en computador

Figura 8. Vista de los semáforos funcionando en la maqueta



El sistema desarrollado permite garantizar una movilidad más ágil optimizando tiempos y recursos, y sobre todo ofrece soluciones a los embotellamientos generados en el centro histórico principalmente en las horas pico debido al cierre de las vías más transitadas, ya que el uso de semáforos inteligentes permite minimizar los tiempos de espera y dar prioridad a los sectores que cuentan con una mayor circulación vehicular.

Al momento, este es un sistema base prototipo que necesita varias mejoras, entre ellas deben considerarse la capacidad de cómputo para el proceso de reconocimiento de imágenes, dado que, por el momento la capacidad computacional es un limitante que reduce el análisis a pocas calles.

Se vio que sería más factible implementar el trabajo con cámaras distribuidas, que puedan monitorear más eficientemente un sector determinado y delimitado, al trabajar con una sola cámara el proceso es más pesado.

Se deben manejar eventos concurrentes, que permitan a futuro considerar el tráfico de una calle en relación también a lo que está ocurriendo en las demás, no como un solo objeto individual.

Finalmente, el prototipo, fue bastante satisfactorio para nosotros, ya que incluye varios conocimientos aplicados de una manera completa, eficiente y escalable, que permitirá presentar uno de los mayores conflictos de movilidad de las diferentes ciudades.

REFERENCIAS

- [1] J. Díaz-Verdejo, "Ejemplo de bibliografía", en Actas de las XI Jornadas de Ingeniería Telemática, vol. 1, n. 1, pp. 1-5, 2013.
- [2] El Mercurio, "El Tránsito Saturación Calles y Avenidas". Available: <http://www.elmercurio.com.ec/347908-transito-satura-calles-y-avenidas/> (2012). septiembre 2012.

- [3] El Tiempo, “El Centro Histórico se prioriza a peatones”. Available: <http://www.eltiempo.com.ec/noticias/cuenca/2/378848/en-el-centrohistorico-se-priorizara-a-peatones>, 27 Julio 2016.
- [4] Municipalidad de Cuenca, 2018. [En línea]. Available: http://www.cuenca.gob.ec/sites/default/files/PMEP_CentroHistorico.pdp.
- [5] A. R. Machaca Ninacansaya, Análisis y Diseño de un Sistema de Control de Tráfico Vehicular Utilizando Semáforos Inteligentes con Tecnología Arduino UNAP, 2016.
- [6] J. A. Castán, S. Ibarra, J. Laria, J. Guzmán and E. Castán, “Control de Tráfico basado en agentes inteligentes”. SciELO, México, 2014.
- [7] El Tiempo, “Vías del centro histórico saturadas” Available: <http://www.eltiempo.com.ec/noticias/cuenca/2/355978/vias-del-centro-historicosaturadas>, 18 Julio 2015.
- [8] A. Reinoso García, “Diseño de un prototipo para controlar un semáforo inteligente usando tecnologías GSM/GPRS y Wireless CPU sobre una plataforma Open-Soft (LINUX)”. 2009.
- [9] J. G. Tamayo Zuluaga, *Reconocimiento de Figuras geométricas a través de una webcam con Opencv*, 2012.
- [10] J. Canny, A Computational Approach To Edge Detection, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), pp. 679-698, 1986.
- [11] A. Alfaro, and I. Mendoza “Diseño de un Algoritmo de Segmentación de imágenes aplicando el Funcional de MumfordShah para mejorar el desempeño de los algoritmos clásicos de segmentación”, Computer Engineering thesis, School of Informatic, University National of Trujillo, 2006.
- [12] R. A. Hummel, B. Kimia, and S. W. Zucker., Deblurring gaussian blur. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 38(1), 66-80, 1987.

Ex post competitiveness of the Ecuadorian metal-mechanic industry

Competitividad ex post de la industria metalmecánica en Ecuador

P. Pérez-Gosende¹, C. Lucín-Castillo²

Abstract: *Much has been said about the importance of the metal-mechanic industry as the backbone of industrial development in emerging economies. However, in Ecuador, its competitiveness has not been studied yet. Confronting this, two indicators of revealed comparative advantages based on exports and domestic sales, are used in this research to determine quantitatively, the level of competitiveness of metal-mechanic industry, firstly from a cantonal approach and later from the economic classes' point of view. According to the longitudinal behavior of these indices between 2009 and 2014, it is shown that the metal-mechanic industry located in Cuenca is the most competitive to a country level based on its exports. Regarding domestic sales, Quito, Guayaquil, Cuenca and Ambato present very weak competitive advantages. The other metal-mechanic industries throughout the country have very accentuated comparative disadvantages.*

Keywords: Ecuador; metal-mechanic industry; competitiveness; revealed comparative advantages.

Resumen: Mucho se ha hablado de la importancia de la industria metalmecánica en el desarrollo de las economías emergentes. Sin embargo, en Ecuador, no se ha estudiado a profundidad su nivel de competitividad. Frente a esto, en esta investigación se utilizan dos indicadores de ventajas comparativas reveladas con base en las exportaciones y las ventas internas que permiten determinar, de forma cuantitativa, el nivel de competitividad de la industria metalmecánica nacional desde el plano de análisis cantonal, y luego a nivel de clase económica. De acuerdo al comportamiento longitudinal de estos índices entre los años 2009 y 2014, se demuestra entonces que la industria metalmecánica de Cuenca es la más competitiva del Ecuador sobre la base de las exportaciones. Respecto a las ventas internas, Quito, Guayaquil, Cuenca y Ambato presentan ventajas comparativas muy débiles. El sector metalmecánico del resto del país presenta desventajas comparativas muy marcadas.

Palabras clave: Ecuador, industria metalmecánica, competitividad, ventajas comparativas reveladas.

-
- 1 Pablo Alberto Pérez Gosende, Magíster en Administración de Empresas Gestión de la Producción y los Servicios, Ingeniero Industrial, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Miembro del Grupo de Investigación Interdisciplinar en Matemática Aplicada GIIMA, pperezg@ups.edu.ec
 - 2 Virginia Carolina Lucín Castillo, Magíster en Marketing e Investigación de Mercados, Economista con mención en Gestión empresarial especialización Marketing, Universidad Laica Vicente Rocafuerte, vlucinc@ulvr.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

La industria metalmecánica, para algunos autores, está constituida únicamente por aquellas empresas cuyos procesos productivos utilizan como insumos principales los productos de la siderurgia y sus derivados con el fin de diseñar y fabricar estructuras metálicas [1]. Otros autores, le acotan la totalidad de las empresas destinadas a la producción y transformación de metales, sin restringir su alcance únicamente a aquellas que utilizan los productos de la siderurgia como materia prima [2]. Incluso, hay quienes incluyen como parte del sector aquellas organizaciones que brindan servicios de mantenimiento y reparación de estructuras y equipos mecánicos [3].

A pesar del cierto nivel de ambigüedad en su delimitación, lo que sí queda muy claro es que en la actualidad la industria metalmecánica representa cerca de 16% del Producto Interno Bruto (PIB) industrial en América Latina y da empleo a 23,8 millones de personas en forma directa o indirecta [4].

El amplio alcance de esta industria la convierte en un eslabón fundamental en la matriz productiva de cada país, pues además de suministrar maquinarias e insumos a otras industrias o actividades económicas, permite generar fuentes de empleo con un alto nivel de calificación. Además, la necesidad del sector por integrar las cadenas de valor y generar valor agregado da lugar a la transferencia de conocimientos y favorece la innovación. Estas conside-

raciones han hecho posible que el gobierno nacional reconozca en el Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones (COPCI), a la industria metalmecánica como un sector estratégico y prioritario para el desarrollo económico del Ecuador [5].

Frente a esto, en esta investigación el alcance de la industria metalmecánica se circunscribe a cuarenta clases económicas de acuerdo a la nomenclatura a cuatro dígitos de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CIIU) vigente en el Ecuador [6]. Estas clases son: C2410, C2420, C2431, C2432, C2511, C2512, C2513, C2520, C2591, C2592, C2593, C2599, C2710, C2732, C2750, C2811, C2812, C2813, C2814, C2815, C2816, C2818, C2819, C2821, C2822, C2823, C2824, C2825, C2826, C2829, C2910, C2920, C2930, C3011, C3020, C3030, C3040, C3091, C3092 y C3099.

De acuerdo a la delimitación anterior, al hablar de la industria metalmecánica en esta investigación, se estará haciendo referencia a todas aquellas empresas que manufacturan y/o transforman metales y sus aleaciones para la producción de utillaje, artículos metálicos de diverso tipo, cables, herramientas, equipos eléctricos y no eléctricos, maquinaria y equipos de transporte automotor. No se incluye dentro de la industria, a las empresas que producen artículos de informática, electrónica y óptica (división C26 del CIIU Revisión 4.0, [6], que fabrican muebles (división

C31), o aquellas que reparan e instalan maquinaria y equipos (división C33).

El sector metalmecánico reviste una importancia estratégica para el desarrollo de los proyectos de inversión hidrocarbúricos, de telecomunicaciones, mineros, eléctricos e hidroeléctricos que desarrolla el gobierno ecuatoriano en la actualidad. Estos, están encaminados al cumplimiento del objetivo diez del Plan Nacional del Buen Vivir, que busca impulsar la transformación de la matriz productiva del país [7]. De ahí la importancia de estudiar su nivel de competitividad, pues facilitaría la identificación de oportunidades de mejora de políticas públicas orientadas al desarrollo industrial de la nación.

La definición de competitividad depende del nivel de análisis en la que esta es investigada [8]. En consecuencia, algunos autores han planteado que puede ser abordada desde cuatro enfoques o niveles de actividad socioeconómica diferentes: país, región, industria y empresa [9], [10], o bien macro, meta, meso y micro [11]. Por su parte, Morales-González y Pech-Vázquez plantean la posibilidad de abordar la competitividad en los niveles de país y sector (enfoque macro o de factores externos) o al nivel de empresa (enfoque micro) [12]. Es precisamente este último nivel de análisis, el más común en los estudios de competitividad, seguido por los niveles: industria, nación y región [8].

Una definición general que puede aplicarse a cualquier unidad de análisis es la formulada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económi-

cos (OCDE). Esta institución ha definido la competitividad como la capacidad de las compañías, industrias, regiones, naciones y regiones supranacionales para generar altos niveles de ingreso y empleo de forma sostenible, mientras participan y se mantienen expuestas a la competencia internacional [13].

Por su parte, Meraz-Ruiz, define la competitividad como aquella medida en la que el desempeño de una unidad productiva, ya sea una empresa, industria o la misma economía nacional, permita hacer una comparación de su posición respecto a la competencia, y que a su vez, posibilite la identificación de las fortalezas y debilidades[10].

En consonancia con las definiciones anteriores, existe una amplia variedad de estudios que han intentado caracterizar y medir la competitividad de sectores industriales, ya sea mediante modelos teóricos [14], [15], o formulaciones matemáticas relativamente complejas como los modelos de ecuaciones estructurales [16], [17], el análisis factorial de componentes principales [18] o índices multidimensionales de desempeño económico [13], [19]. En todos los casos anteriores se ha tratado a la competitividad como un constructo multidimensional compuesto por innumerables variables que pueden ser muy específicas de los entornos empresariales en los que se mide.

De tal forma, la transferencia de estos modelos o enfoques a otros contextos industriales podría resultar impráctica. De igual modo, las herramientas empleadas requieren de un alto conoci-

miento por parte del analista, a la vez que demandan un alto esfuerzo en la recopilación de datos.

En este contexto, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), propone analizar la competitividad de un sector industrial nacional sobre la base de su comportamiento exportador [9]. Este enfoque *ex post*, materializado en la metodología CAN (*Competitive Analysis of Nations*) a través de varios indicadores entre los que destacan los índices de ventajas comparativas reveladas [20], ha sido utilizado de forma recurrente en la literatura científica para diagnosticar el nivel de competitividad de ciertas industrias a nivel agregado [21]–[24]. Sin embargo, estos estudios han analizado únicamente las ventajas comparativas factibles de ser relevadas a través del análisis de los flujos del comercio internacional, desconociendo (o desvalorizando) la relevancia de los flujos comerciales totales (internos y externos) para el análisis de la competitividad nacional de ciertos sectores industriales en vías desarrollo, que no se destacan por el volumen de sus exportaciones.

Frente a esto, este estudio buscó identificar el nivel de competitividad

nacional de la industria metalmecánica del Ecuador, por regiones (específicamente empleando el nivel cantonal como unidad de análisis), a través de un enfoque *ex post* en aproximación a la metodología CAN de la CEPAL, basado en índices de ventajas comparativas reveladas con base en las exportaciones, pero también enfocado a las ventas al mercado nacional. Este enfoque, se presenta en esta investigación como una alternativa a los complejos modelos referenciados en la literatura, que no permiten evaluar la competitividad nacional *ex post* de sectores industriales con un bajo potencial exportador.

El artículo está dividido en varias secciones. A continuación de la introducción se presenta la estrategia metodológica empleada para cumplir el propósito de la investigación. Luego, se presenta la sección de los resultados, donde se realiza una breve caracterización de la industria metalmecánica del Ecuador sobre la base de ciertas variables económicas seleccionadas. Luego, y en la misma sección, se identifica el nivel de competitividad de la industria metalmecánica nacional empleando el nivel cantonal como unidad de análisis. Por último, se presentan algunas consideraciones finales.

2. MÉTODOS

En esta investigación se utilizan dos indicadores de ventajas comparativas con base en las exportaciones y las ventas internas para identificar el nivel de competitividad nacional de un sector industrial. El análisis se realizó de manera

longitudinal en el caso de estudio de la industria metalmecánica del Ecuador, cubriendo los años comprendidos entre 2009 y 2014, y mediante el cálculo de los índices de ventajas comparativas reveladas que se presentan a continuación:

$$IVE_{ij} = \frac{\frac{E_{ij}}{\sum_i E_{ij}}}{\frac{\sum_j E_{ij}}{\sum_i \sum_j E_{ij}}} \quad (1)$$

$$IVV_{ij} = \frac{\frac{V_{ij}}{\sum_i V_{ij}}}{\frac{\sum_j V_{ij}}{\sum_i \sum_j V_{ij}}} \quad (2)$$

IVE_{ij} es el valor del Indicador de ventajas comparativas con base en las exportaciones de la clase o sector industrial i (CIIU Revisión 4.0, de 4 dígitos) correspondiente al cantón j . El término E_{ij} representa las exportaciones de la clase o sector industrial i del cantón j . El numerador de la expresión matemática refleja la participación de las exportaciones de la clase o industria i en estudio en el agregado de las exportaciones totales del cantón, mientras que el denominador da cuenta del peso de esta industria en las exportaciones nacionales.

IVV_{ij} es el valor del Indicador de ventajas comparativas con base en las ventas nacionales de la clase o sector industrial i (CIIU Revisión 4.0, de 4 dígitos) correspondiente al cantón j . El término V_{ij} representa las ventas internas (referidas al mercado nacional) de toda la clase o industria en el cantón j . El numerador de la relación matemática refleja la participación de las ventas nacionales de la clase o industria i en el agregado de las ventas nacionales totales del cantón, mientras que el de-

nominador da cuenta del peso de esta industria en las ventas internas totales que se generan anualmente en el país.

Cuando IVE_{ij} o IVV_{ij} es superior a la unidad, la clase o sector industrial del cantón en estudio tiene una ventaja comparativa relativa (en relación a otras clases o sectores industriales de otros cantones). Si IVE_{ij} o IVV_{ij} toma valores entre uno y dos, tal ventaja comparativa es débil; cuando se encuentra entre dos y tres, la ventaja comparativa es fuerte; y si es mayor que 3, la ventaja comparativa es muy marcada.

Los datos de las exportaciones y las ventas al mercado nacional de las empresas que conforman el sector siderúrgico en el Ecuador, fue obtenido del Directorio de Empresas y Establecimientos (DIEE). Este, es un registro con fines estadísticos que publica el Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC) desde 2012, con una periodicidad anual, y contiene información de todas las unidades económicas ecuatorianas formalmente constituidas con el fin de producir bienes y servicios.

La difusión de la información contenida en el DIEE se lleva a cabo a través del portal web del INEC entre octubre y noviembre del año posterior al último período analizado [25]. De tal forma, para el análisis de la información económica del sector metalmecánico nacional, fue utilizada la última versión disponible del DIEE, correspondiente al año 2014 [26].

La información obtenida fue procesada mediante el paquete estadístico IBM® SPSS® Statistics, versión 22.

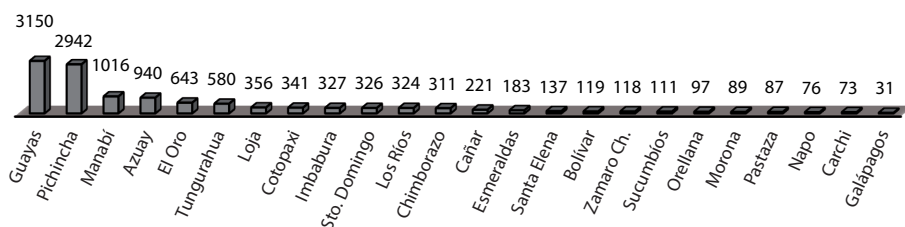
3. RESULTADOS

En esta sección, primeramente, se presenta una breve caracterización económica del sector metalmecánico ecuatoriano. Tal caracterización fue realizada teniendo como insumo los datos económicos obtenidos de la base de datos del DIEE. En un segundo momento, se procede a determinar los índices de ventajas comparativas reveladas para las industrias metalmecánicas, primero a nivel de cantón y luego a nivel de clase económica.

3.1 Caracterización de la industria metal-mecánica del Ecuador

La Figura 1 muestra el total de empresas metalmecánicas que existían por cada provincia a inicios de 2015 en el Ecuador. De ahí puede observarse que el conglomerado de empresas metalmecánicas del Ecuador está compuesto por 12,598 empresas. La mayor cantidad de estas se encuentran distribuidas en las provincias de Guayas (25%), Pichincha (23.4%), Manabí (8.1%), Azuay (7.5%), El Oro (5.1%) y Tungurahua (4.6%). En total estas provincias abarcan el 73.6% del sector a nivel nacional.

Figura 1. Cantidad de empresas metalmecánicas por provincia, Ecuador, 2014

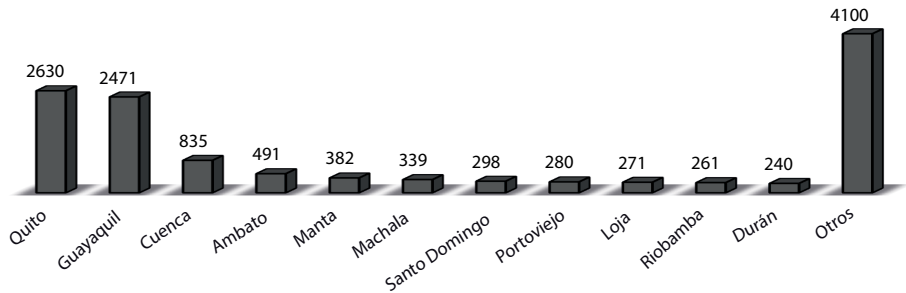


Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de empresas del DIEE [26]

La Figura 2 muestra la distribución geográfica de las empresas metalmecánicas del Ecuador a nivel cantonal. Como puede observarse, el cantón Quito, en la provincia de Pichincha, ocupa el primer lugar a nivel nacional en cuanto al tamaño de su industria

metal-mecánica. Sus 2.630 empresas, en total representan el 20,9% de toda la industria a nivel nacional, mientras Guayaquil concentra el 19,6%. Destacan también, en orden descendente, el cantón Cuenca (6,6%), Ambato (3,9%), Manta (3%) y Machala (2,7%).

Figura 2. Distribución geográfica de las empresas metalmecánicas por cantón, Ecuador, 2014



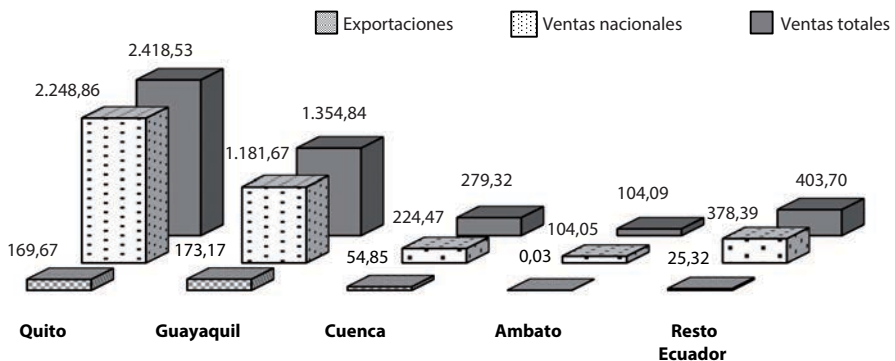
Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de empresas del DIEE [26]

Como era de suponer, Quito, que concentra la mayor cantidad de empresas metalmecánicas del país, abarcó más de la mitad de las ventas netas anuales de productos metalmecánicos (específicamente el 53%), tal como lo muestra la Figura 3. Guayaquil se destaca con el 29,7% de todas las ventas totales anuales, Cuenca el 6,1% y Ambato el 2,3%. Puede afirmarse entonces que el bastión de la industria metalmecánica ecuatoriana se encuentra en estas cua-

tro ciudades, pues en total, abarcaron el 91,1% de las ventas netas anuales del sector a nivel nacional.

De igual manera, fue el cantón Quito quien lideró en 2014 las ventas al mercado nacional, ocupando una cuota de mercado del 54.4%. Sin embargo, la industria guayaquileña, que cubrió únicamente el 28.6% del mercado nacional, fue quien lideró las exportaciones con el 40.9%, tal como se deduce de la Figura 3.

Figura 3. Ventas de la industria metalmecánica en cantones seleccionados (en millones de USD), Ecuador, 2014



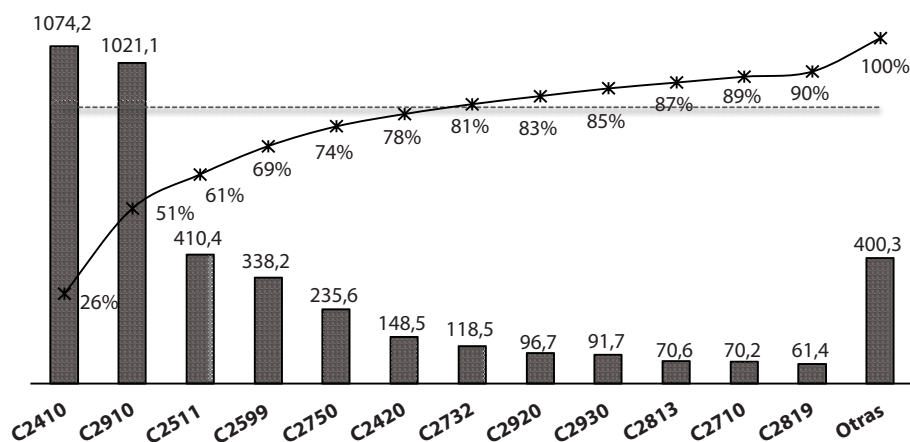
Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de empresas del DIEE [26]

En contraste, Quito ocupó el 40.1% de las exportaciones metalmeccánicas del Ecuador durante 2014. Lo anterior podría sugerir que las industrias de estas dos ciudades tienen un nivel de competitividad similar.

El diagrama de Pareto de la Figura 4, muestra las clases económicas de la industria metalmeccánica (de acuerdo al CIIU Revisión 4.0 a cuatro dígitos, INEC, 2012) con mayores niveles de ventas dirigidas al mercado nacional. De aquí se deduce que las clases más importantes en este sentido, corresponden a las industrias básicas de hierro y

acero (C2410); las que fabrican vehículos automotores (C2910); productos metálicos para uso estructural (C2511); otros productos elaborados de metal n.c.p. (C2599); aparatos de uso doméstico (C2750); productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos (C2420); otros hilos y cables eléctricos (C2732); carrocerías para vehículos automotores, remolques y semirremolques (C2920) y partes, piezas y accesorios para vehículos automotores (C2930). Estas clases, en total, generaron durante 2014 el 85% de las ventas internas de toda la industria.

Figura 4. Clases económicas con mayores ventas nacionales (en millones de USD), Ecuador, 2014

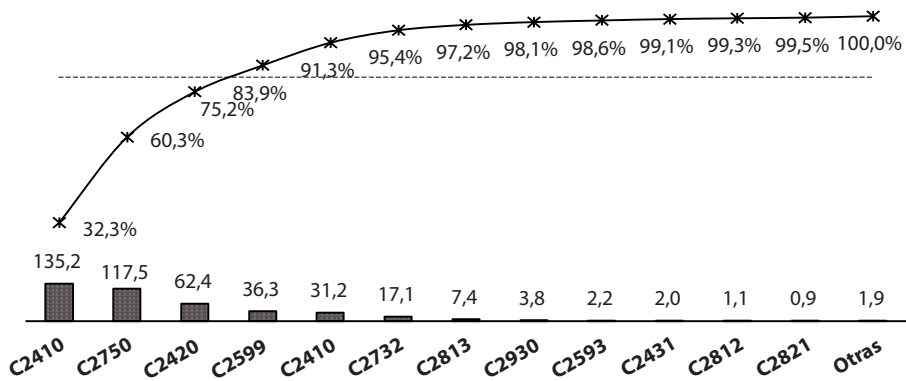


Fuente: Elaboración propia usando la base de datos de empresas del DICE (INEC, 2015)

La Figura 5, por su parte, representa las clases económicas con mayores exportaciones de productos metalmeccánicos. Aquí puede observarse que el 91,3% del total de exportaciones del sector son generadas por cinco clases. Estas son las que agrupan las empre-

sas que fabrican vehículos automotores (C2910); aparatos de uso doméstico (C2750); productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos (C2420); otros productos elaborados de metal n.c.p. (C2599) y las industrias básicas del hierro y aceros (C2410).

**Figura 5. Clases económicas con mayores exportaciones
(en millones de USD), Ecuador, 2014**



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de empresas del DIEE [26]

La metodología del Directorio de Empresas y Establecimientos (DIEE) clasifica las empresas del Ecuador en cuatro categorías: microempresa, pe-

queña empresa, mediana empresa “A”, mediana empresa “B” y gran empresa [25]. Los criterios utilizados para esta clasificación se presentan en la Tabla 1.

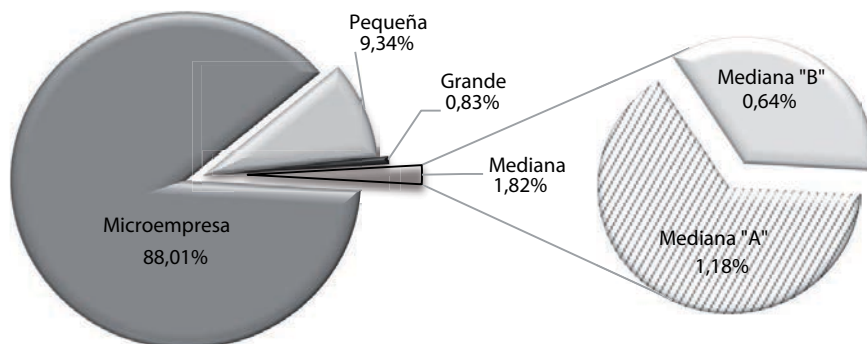
Tabla 1. Clasificación de las empresas ecuatorianas según su tamaño

Clasificación de las empresas	Volúmenes de ventas anuales	Personal ocupado
Microempresa	Menor a 100.000	1 a 9
Pequeña empresa	100.001 a 1.000.000	10 a 49
Mediana empresa “A”	1.000.001 a 2.000.000	50 a 99
Mediana empresa “B”	2.000.001 a 5.000.000	100 a 199
Gran empresa	5.000.001 en adelante	200 en adelante

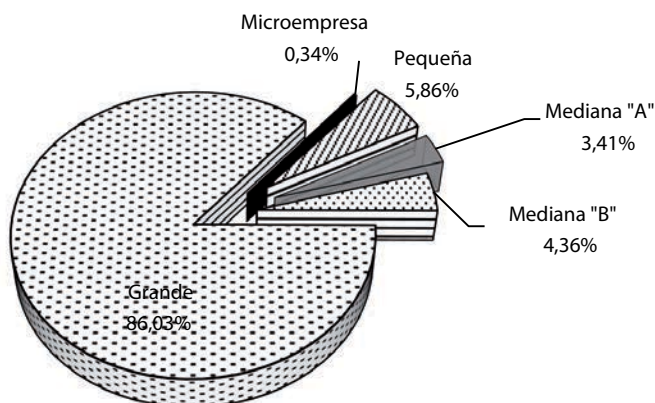
Fuente: [25]

La Figura 6 muestra la proporción de las empresas que conforman el sector metalmeccánico del Ecuador según su tamaño. De aquí se desprende que la mayoría de las empresas del sector, o específicamente el 97,35%, son microempresas y pequeñas empresas. Las grandes empresas tienen menor repre-

sentación en esta industria, con solo el 0,83%. Sin embargo, son estas últimas, de acuerdo a la Figura 7, las que ocuparon rotundamente los mayores niveles de ventas netas durante 2014 con el 86,03%. Las microempresas solo generaron durante 2014 el 0,34% de las ventas netas de todo el sector.

Figura 6. Tamaño de las empresas del sector metalmecánico. Ecuador, 2014

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de clasificación de empresas del DIEE según su tamaño [25] y la base de datos del DIEE [26].

Figura 7. Participación de las empresas según su tamaño en las ventas netas del sector metalmecánico, Ecuador, 2014

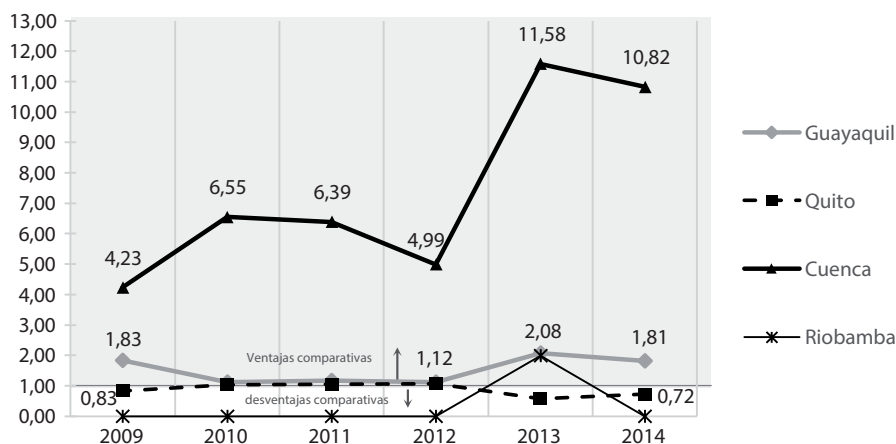
Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología de clasificación de empresas según su tamaño del DIEE [25] y la base de datos del DIEE [26].

3.2 Competitividad ex post de la industria metalmecánica en el Ecuador

Las Figuras 8 y 9 muestran el comportamiento longitudinal (entre los años 2009 y 2014) de los índices de ventajas

comparativas reveladas sobre la base de las exportaciones y las ventas internas, respectivamente, de los sectores metal-mecánicos ecuatorianos con mayor flujo comercial.

Figura 8. Índice de ventajas comparativas reveladas de la industria metalmecánica de cantones seleccionados respecto a las exportaciones, Ecuador, 2014



Fuente: Elaboración propia a partir de la Ecuación 2 y la información sobre ventas internas incluida en el DIEE [26]

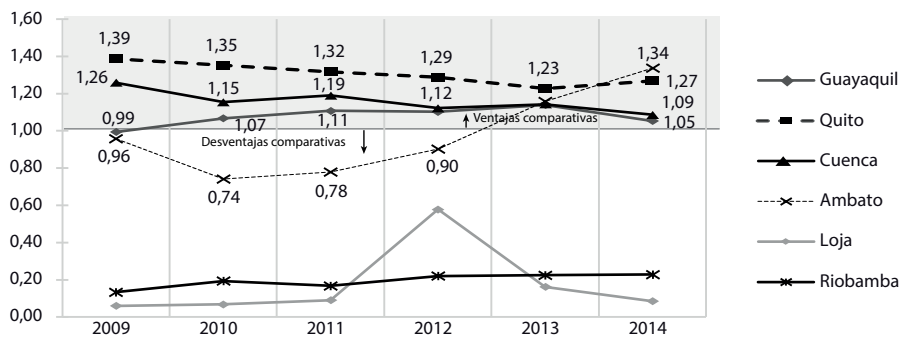
La Figura 8 muestra que respecto a las exportaciones, Cuenca ha revelado ventajas comparativas muy marcadas de forma ininterrumpida entre 2009 y 2014, pues el IVE ha tomado valores superiores a cuatro de forma sostenida, llegando incluso a 11,58 durante 2013. Guayaquil, por su parte, a pesar de mostrar ventajas fuertes respecto a las exportaciones durante 2013 (IVE=2,08), de manera sistemática ha presentado valores de IVE inferiores a dos, por lo que puede afirmarse de manera general que sus ventajas comparativas son débiles. El resto de regiones en estudio tienen desventajas comparativas reveladas.

En el caso de Riobamba sólo en 2013 el IVV fue diferente de cero (1,987). No puede afirmarse entonces que Riobamba tiene ventajas comparativas respecto

a sus exportaciones metalmecánicas, pues estas, hasta el momento, no han demostrado ser sistemáticas en el tiempo [27].

Por su parte, de la Figura 9 se deduce que en el Ecuador, Quito, Cuenca, Guayaquil y Ambato tienen ventajas comparativas respecto a las ventas de productos metalmecánicos dirigidos al mercado nacional. Y a pesar de que Quito destaca ligeramente sobre el resto (excepto en 2014), las cuatro regiones tienen ventajas comparativas débiles, dado que sus respectivos IVV son mayores que la unidad, pero menores a dos. El resto de los cantones con presencia de empresas metalmecánicas ofrecen desventajas comparativas respecto a Quito, Cuenca, Guayaquil y Ambato.

Figura 9. Índice de ventajas comparativas reveladas de la industria metalmecánica de cantones seleccionados respecto a las ventas internas, Ecuador, 2014



Fuente: Elaboración propia a partir de la Ecuación 2 y la información sobre ventas internas incluida en el DIEE [26]

Dado el amplio alcance de la industria metalmecánica, a continuación, las Tablas 2 y 3 presentan las clases económicas (de acuerdo al CIU Revisión 4.0 a cuatro dígitos; INEC, 2012) que presentan las mayores ventajas comparativas reveladas sobre la base de las exportaciones y las ventas internas, respectivamente. Para esta representación

fue determinado un valor promedio de IVE e IVV, considerando en su cálculo, únicamente aquellos valores diferentes de cero. Las clases que se presentan en estas Tablas tienen ventajas comparativas reveladas de forma sistemática en el tiempo, o sea, al menos dos años consecutivos presentaron valores de IVE e IVV superiores a tres.

Tabla 2. Clase económicas con mayores ventajas comparativas reveladas respecto a las exportaciones. Ecuador, 2009-2014

Clase	Denominación	Cantón	IVE
C2410	Industrias básicas de hierro y acero.	Guayaquil	3,58
C2599	Fabricación de otros productos elaborados de metal n.c.p.	Guayaquil	3,54
C2750	Fabricación de aparatos de uso doméstico.	Cuenca	32,53
C2732	Fabricación de otros hilos y cables eléctricos.	Guayaquil	4,91
C2420	Fabricación de productos primarios de metales preciosos y metales no ferrosos.	Guayaquil	3,36
		Cuenca	4,88
C2821	Fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal.	Portoviejo	1529,71
C2710	Fabricación de motores, generadores, transformadores eléctricos y aparatos de distribución y control de la energía eléctrica	Ambato	226,5
C2825	Fabricación de maquinaria para la elaboración de alimentos, bebidas y tabaco.	Guayaquil	3,73

Fuente: Elaboración propia a partir de la Ecuación 1 y la información sobre ventas internas incluida en el DIEE [26]

4. DISCUSIÓN

Después del análisis de competitividad realizado en la sección anterior de este trabajo, puede concluirse que la industria metalmecánica de Cuenca es la más competitiva del Ecuador respecto a su nivel de exportaciones. Tal afirmación, se sustenta en el hecho de que entre 2009 y 2014, el peso de sus exportaciones en el agregado de las ex-

portaciones totales del cantón, ha sido en promedio, 6,43 veces mayor al peso de toda la industria metalmecánica nacional en las exportaciones totales del Ecuador. Esto se considera una ventaja comparativa muy marcada no solo respecto a otras industrias metalmecánicas del país, sino también respecto a otros sectores industriales.

Tabla 3. Clase económicas con mayores ventajas comparativas reveladas respecto a las ventas internas. Ecuador, 2009-2014

Clase	Denominación	Cantón	IVV
C2750	Fabricación de aparatos de uso doméstico.	Cuenca	11,71
C2732	Fabricación de otros hilos y cables eléctricos.	Guayaquil	3,31
C2592	Tratamiento y revestimiento de metales; maquinado.	Manta	4,64
C2710	Fabricación de motores, generadores, transformadores eléctricos y aparatos de distribución y control de la energía eléctrica.	Ambato	13,92
C2816	Fabricación de equipo de elevación y manipulación.	Riobamba	13,68
C2825	Fabricación de maquinaria para la elaboración de alimentos, bebidas y tabaco.	Riobamba	18,07
C2829	Fabricación de otros tipos de maquinaria de uso especial.	Sto. Domingo	14,12
C3011	Construcción de buques y estructuras flotantes.	Guayaquil	3,40
C3040	Fabricación de vehículos militares de combate.	Guayaquil	3,19
C2593	Fabricación de artículos de cuchillería, herramientas de mano y artículos de ferretería.	Ambato	14,18
C2822	Fabricación de maquinaria para la conformación de metales y de máquinas herramienta.	Sto. Domingo	8,26
		Riobamba	5,37
C2824	Fabricación de maquinaria para la explotación de minas y canteras y para obras de construcción.	Machala	6,98
C3092	Fabricación de bicicletas y de sillas de ruedas para inválidos.	Cuenca	6,69
C2431	Fundición de hierro y acero.	Cuenca	13,95
C2815	Fabricación de hornos y quemadores.	Cuenca	7,34
C2821	Fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal	Sto. Domingo	18,41
C2920	Fabricación de carrocerías para vehículos automotores; fabricación de remolques y semirremolques.	Ambato	22,75

Fuente: Elaboración propia a partir de la Ecuación 2 y la información sobre ventas internas incluida en el DIEE [26]

Respecto a las ventas internas, en Ecuador destacan: Quito, Cuenca y Guayaquil con índices de ventajas comparativas reveladas promedios de: 1,31, 1,16 y 1,08, respectivamente, para el período 2009-2014. En este sentido Ambato también ha mostrado una mejoría en los últimos años, obteniendo un índice promedio de 1,25 en el período 2013-2014. Lo anterior, indica que los niveles de ventas al mercado nacional de estos sectores metalmecánicos respecto al aporte total de sus respectivos cantones al comercio interno, no destacan mucho respecto al aporte de toda la industria metalmecánica en la economía nacional en igual período, por lo que sus ventajas comparativas en este sentido son muy débiles.

El trabajo aquí presentado también permitió identificar las clases económicas (de acuerdo al CIIU Revisión 4.0 a cuatro dígitos, (INEC, 2012) dentro de la industria metalmecánica que tienen las ventajas comparativas reveladas más destacadas respecto a las exportaciones y las ventas internas.

Respecto a las exportaciones, la clase económica que tiene la ventaja comparativa revelada más fuerte (según la Tabla 2) corresponde a la fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal (Clase C2821) del cantón Portoviejo. En este caso, el peso de sus exportaciones en el agregado de las exportaciones totales del cantón, ha sido en promedio, 1.528,71 veces mayor al peso de toda la clase C2821 en las exportaciones totales del Ecuador.

Las ventajas comparativas reveladas más fuertes con base en las exportacio-

nes en Cuenca corresponden a la fabricación de aparatos de uso doméstico (C2750). Ambato destaca en la fabricación de motores, generadores, transformadores eléctricos y aparatos de distribución y control de la energía eléctrica (C2710). Guayaquil, por su parte, destaca en la fabricación de hilos y cables eléctricos (C2732), en la fabricación de maquinaria para la elaboración de alimentos, bebidas y tabaco (C2825), y en las industrias básicas de hierro y acero (C2410).

Respecto a las ventas dirigidas al mercado nacional, la clase económica que tiene la ventaja comparativa revelada más fuerte corresponde a la fabricación de remolques, semirremolques y carrocerías para vehículos automotores de Ambato (Clase C2920). En este caso, su participación respecto a las ventas internas totales generadas por el cantón, fue en promedio, 21,75 veces superior al aporte de toda la clase C2920 en la economía nacional en igual período. Además de esto, Ambato también destaca en la fabricación de artículos de cuchillería, herramientas de mano y artículos de ferretería (C2593) y la fabricación de motores, generadores, transformadores eléctricos y aparatos de distribución y control de la energía eléctrica (C2710).

En el caso de Cuenca, las ventajas comparativas reveladas más fuertes con base en las ventas internas corresponden a la fundición de hierro y acero (C2431) y la fabricación de aparatos de uso doméstico (C2750). Riobamba destaca en la fabricación de maquinaria

para la elaboración de alimentos, bebidas y tabaco (C2825), así como en la fabricación de equipo de elevación y manipulación (C2816). El cantón Santo Domingo resalta por la fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal (C2821).

A la luz de los resultados anteriores, y como resultado del desarrollo de la matriz productiva impulsada por el gobierno del Ecuador, en los años que están por venir debe seguirse fortaleciendo el sector. Para esto, puede resultar relevante la revisión de las buenas prácticas de los países de la región que tienen una industria metalmecánica fortalecida y altamente competitiva en mercados internacionales, tales como

Brasil, México, Argentina, Venezuela y Colombia.

A pesar de su aplicación en el contexto de la industria metalmecánica nacional, el enfoque aquí presentado a través de índices de ventajas comparativas relevadas, puede ser aplicado a cualquier contexto industrial. Es importante destacar que estos resultados sirven de insumo para una discusión de políticas de mejora sobre los sectores que muestran ventajas y desventajas comparativas. Sin embargo, la información que brinda este enfoque no es absoluta, por lo que debe emplearse como complemento a otras estrategias de análisis de la competitividad a nivel de sector industrial.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Esta investigación, determinó la presencia de ventajas y desventajas comparativas reveladas con base en las exportaciones y las ventas internas de la industria metalmecánica del Ecuador, empleando como unidades de análisis a los cantones y las clases económicas que definen su alcance.

Se concluye principalmente que el cantón Cuenca posee la industria metalmecánica más competitiva del Ecuador sobre la base de las exportaciones. Respecto a las ventas internas, solo Quito, Guayaquil, Cuenca y Ambato presentan ventajas comparativas, pero estas son muy débiles. El sector metalmecánico

del resto del país presenta desventajas comparativas tanto desde el punto de vista de sus exportaciones como de su participación en el mercado nacional.

Las ventajas comparativas reveladas más fuertes con base en las exportaciones corresponden a las empresas portoviejenses que se dedican a la fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal. Respecto a las ventas dirigidas al mercado nacional, las ventajas comparativas reveladas más fuertes corresponden a las empresas dedicadas a la fabricación de carrocerías para vehículos automotores y la fabricación de remolques y semirremolques en el cantón Ambato.

REFERENCIAS

- [1] F. Maldonado and G. Proaño, "Zoom al sector metalmecánico," *Ekos*, no. 252, p. 151, 2015.
- [2] C. Ferreira, O. L. Gonçalves, S. L. Braga, and M. Jasmin, "Guidelines for the Career Management of Young Leaders: The Case Study of the Metalworking Industry in the Southeastern of Brazil," *J. Bus. Hum. Resour. Manag.*, vol. 2, no. 8, pp. 1-13, 2016.
- [3] J. Ferrer, J. L. Vázquez, C. Clemenza, and R. Pérez, "Gestión de calidad y su dimensión ético competitiva en la pequeña y mediana empresa metalmecánica de la región zuliana," *Rev. Venez. Gerenc.*, vol. 7, no. 17, 2002.
- [4] V. Alcántara, "20 años de la industria metalmecánica en América Latina," *Metalmecánica*, vol. 20, no. 4, México D. F., p. 58, Aug-2015.
- [5] Asamblea Nacional del Ecuador, *Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones*. Ecuador: Registro Oficial, 2010, p. 56.
- [6] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, "Clasificación nacional de actividades económicas (CIU Revisión 4.0)," Quito, Ecuador, 2012.
- [7] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, "Plan Nacional del Buen Vivir," Quito, Ecuador, 2013.
- [8] S. A. Delbari, S. I. Ng, Y. A. Aziz, and J. A. Ho, "Measuring the influence and impact of competitiveness research: a Web of Science approach," *Scientometrics*, vol. 105, no. 2, pp. 773-788, 2015.
- [9] L. Alvarez Medina, "Competitiveness in the industrial enterprise: A reflection on methodology," *Rev. Venez. Gerenc.*, vol. 13, no. 43, pp. 341-357, 2008.
- [10] L. Meraz Ruiz, "Estrategias de competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas vinícolas de la ruta del vino del valle de Guadalupe, en Baja California, México," Universidad Autónoma de Baja California, 2014.
- [11] V. G. López and M. E. Marín, "La competitividad y el factor humano en las organizaciones," *Redes Innovación, Energías Renov. y Compet.*, pp. 15-35, 2011.
- [12] M. Morales González and J. Pech Vázquez, "Competitividad y estrategia: el enfoque de las competencias esenciales y el enfoque basado en los recursos," *Rev. contaduría y Adm.*, vol. 197, pp. 47-63, 2000.
- [13] R. Bernardini Papalia, P. Calia, and C. Filippucci, "Information Theoretic Competitiveness Composite Indicator at Micro Level," *Soc. Indic. Res.*, vol. 123, no. 2, pp. 349-370, 2015.
- [14] M. del V. Segarra-Oña, "Creación de un modelo para el estudio de la competitividad de un sector industrial tradicional: aplicación al sector del mueble de hogar de la Comunidad Valenciana," Universidad Politécnica de Valencia, 2003.
- [15] G. P. Requena, P. M. G. Villaverde, and J. J. J. Moreno, "Coopetición y ventaja competitiva en los distritos industriales," *Investig. Eur. Dir. y Econ. la Empres.*, vol. 14, no. 1, pp. 85-102, 2008.
- [16] J. C. Peña-Vinces, "Factores determinantes de la competitividad internacional: aplicación empírica en países en vías de desarrollo," Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2010.
- [17] F. A. Orozco, A. F. Serpell, K. R. Molenaar, and E. Forcael, "Modelando los Factores e Índices de Competitividad para Constructoras: Hallazgos en Chile," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 140, no. 4, p. C4013002, 2013.
- [18] J. Y. Yan, Y. Song, and B. Liang, "A research on the iron and steel enterprise's competitiveness based on principal component analysis - Using Tangshan Iron and Steel Group Co., Ltd as an example," in *Proceedings - 2012 International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications, ISDEA 2012*, 2012, pp. 756-759.
- [19] L. M. Ferrada, J. Candia, and C. Pérez, "Competitividad y desempeño económico del sector silvoagropecuario a nivel regional en Chile," *Idesia (Arica)*, vol. 32, no. 4, pp. 83-94, 2014.

- [20] G. A. Otero, *Competitividad: marco conceptual y análisis sectorial para la provincia de Buenos Aires*, vol. 74. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Economía de la provincia de Buenos Aires, 2006.
- [21] J. S. Arias and O. R. Segura, "Índice de ventaja comparativa revelada: un indicador del desempeño y de la competitividad productivo-comercial de un país," *Rev. Intercamb. Área Comer. y Agronegocios*, no. 4, 2004.
- [22] J. Cafiero, "Análisis de las exportaciones argentinas utilizando el índice de ventajas comparativas reveladas," *Rev. Comer. Exter. e Integr.*, no. 5, pp. 81-98, 2006.
- [23] A. López, A. Niembro, and D. Ramos, "La competitividad de América Latina en el comercio de servicios basados en el conocimiento," *Rev. la CEPAL*, no. 113, pp. 23-42, 2014.
- [24] O. Z. G. Gómez and V. A. A. Valerio, "Estudio de la ventaja comparativa revelada en el comercio de México a España, 1994-2005," *INCEPTUM Rev. Investig. en Ciencias la Adm.*, vol. 2, no. 3, pp. 37-55, 2014.
- [25] L. Trujillo, S. Changoluisa, and B. Solano, "Metodología Directorio de Empresas y Establecimientos 2015," Quito, Ecuador, 2015.
- [26] Instituto Nacional de Estadística y Censos, "Directorio de Empresas y Establecimientos," 2015. [Online]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/directoriodeempresas>. [Accessed: 04-Aug-2016].
- [27] R. Peregrino and L. A. Ledur-Brito, "Vantagem competitiva, criação de valor e seus efeitos sobre o desempenho," *Rev. Adm. Empres.*, vol. 52, no. 1, pp. 70-84, 2012.

Design and implementation of a wireless network control system for DC voltage control

Diseño e implementación de un sistema de control inalámbrico para control de voltaje DC

D. Zapata¹, A. López², C. Pillajo³

Abstract: *When discussing about Wireless Network Control Systems, control and communication theory issues are combined and fusioned in an ecosystem in which sensors, actuators and controllers interact through a wireless communication network. This architecture exhibits some advantages, flexibility and reduction of cabling are the most important, however the data are transmitted on at not ideal media and shows some limitations when sharing bandwidth with other devices connected to the network; as consequence delays in transmission are presented (latencies). Due to the shortage of practical applications in this area, In the present work a didactic DC voltage control system was developed, the controller is located on a WEB server housed in a Raspberry Pi 3 board, HTML, PHP and JAVASCRIPT programming, have an harmoniously interact for the administration of the flow of data between client and server. At the plant, the sensor and the actuator are connected to an Arduino UNO board and a Dragino module who allow wireless communication, closing the control loop through the network or the cloud. To guarantee the stability of the plant; an implementation of an event-based PID controller is going to be implemented; demonstrating the utility and limits of WNCS in this type plants.*

Keywords: *Arduino, PID Control, Raspberry Pi, Voltage Control, WNCS.*

Resumen: Al hablar sobre Wireless Network Control Systems, se abordan temas de teoría de control combinados con teoría de comunicación fusionados en un ecosistema en el que interactúan sensores, actuadores y controladores a través de una red inalámbrica de comunicación. Esta arquitectura exhibe algunas ventajas entre las que destacan reducción de cableado y flexibilidad, por otro lado el medio por el que los datos son transmitidos no es ideal y se presentan limitaciones al compartir ancho de banda con otros dispositivos conectados a la red; en consecuencia existen retrasos en la transmisión (latencias). Debido a la carencia de aplicaciones prácticas en esta área, en el presente trabajo se desarrolló un sistema de control para un generador de voltaje DC didáctico mediante control de velocidad PWM, en el cual el controlador se encuentra en un servidor WEB albergado en una tarjeta Raspberry Pi 3 en la que entrelaza programación HTML, PHP y JSCRIPT de forma armoniosa para la administración del flujo de datos entre cliente y servidor. En la planta tanto el sensor como el actuador están conectados a una tarjeta Arduino Uno y un módulo Dragino para permitir que la comunicación sea inalámbrica.

-
- 1 Diego Zapata Narváez, estudiante en proceso de titulación de la carrera de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Ecuador, dzapatan@est.ups.edu.ec
 - 2 Adrián López Terán, estudiante en proceso de titulación de la carrera de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Ecuador, alopez1@est.ups.edu.ec
 - 3 Carlos Pillajo Angos, Master, Docente de la carrera de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Ecuador, cpillajo@ups.edu.ec

ca, cerrando el lazo de control a través de la red o de la nube. Se va a implementar un controlador PID basado en eventos para garantizar la regulación y estabilidad de la planta; demostrando su

utilidad y las limitaciones del control inalámbrico (WNCS) en este tipo de plantas.

Palabras clave: Arduino, Control PID, Control de Voltaje, Raspberry Pi, WNCS.

1. INTRODUCCIÓN

La proliferación de plataformas *Hardware* y las incontables aplicaciones que se pueden desarrollar en ellas han incursionado en sistemas *Cyberfísicos (CPS)*, los cuales poseen idéntica estructura que *IoT* (Internet de las Cosas), con la diferencia que, además de ofrecer servicios por internet, interactúan en el mundo físico (sensores, actuadores), presentando un desafío importante en el diseño de *Software* al estar inmersos requisitos tanto de seguridad como restricciones en aplicaciones de tiempo real [1], [2].

Los *NCS* (Sistemas de Control en Red) a través de una red de comunicación (basada en paquetes) realizan controles de lazo cerrado en tiempo real; sensores y actuadores están interconectados en una red multipropósito, reflejando ventajas (flexibilidad, reducción de cableado, facilidad de instalación y mantenimiento) pero también algunas imperfecciones: retrasos variables en la transmisión, intervalos variables de muestreo, restricciones de comunicación: No todas las señales sensor-actuador pueden ser transmitidos al mismo tiempo [3].

El presente trabajo trata de la implementación de un controlador predictivo PID (Proporcional Integral Derivativo) basado en eventos, aplicado a un sis-

tema de Control de Voltaje DC, en la sección 2 se revisará conceptos de sistemas *WNCS*, en la sección 3 se revisará el modelo del generador de voltaje DC en el cual se implementó el algoritmo predictivo y por último en la sección 4 se presentan los resultados obtenidos.

Los sistemas Cloud para Automatización se pueden definir de la siguiente manera: Cualquier sistema de automatización que se base en datos o código de una red para soportar su operación, es decir, un sistema donde no estén todos sus elementos integrados en uno solo son aptos o factibles para acceder a la red donde dispone de un conjunto compartido de recursos configurables que pueden ser rápidamente provisionados y liberados con un esfuerzo mínimo de gestión o la interacción entre proveedores de servicios “ [8]. Esta definición implica teleoperación en red o grupos en red de robots móviles tales como UAV [9], [10] o robots de almacén [11], [12], así como líneas de ensamblaje avanzadas, procesamiento plantas y sistemas de domótica, y sistemas con computación realizada por humanos [13], [14]. Debido a la latencia de la red, la calidad de servicio variable y el tiempo de inactividad, los sistemas Cloud Robot y Automation suelen incluir alguna capacidad de procesamien-

to local para respuestas de baja latencia y durante períodos en los que el acceso

a la red no está disponible o no es fiable [15].

2. SISTEMAS DE CONTROL EN RED INALÁMBRICO WNCS

Los *WNCS* al utilizar un canal de comunicación imperfecto, requieren el desarrollo de algoritmos que garanticen estabilidad y rendimiento.

2.1 Antecedentes

2.1.1 Los *WNCS*

En la industria, por lo general, se requiere una gran distribución de sensores y actuadores que garanticen el funcionamiento óptimo del sistema, lo que se traduce costos de cableado para la comunicación y controladores que cuenten con la suficiente capacidad para manejar datos y controlar actuadores de manera eficaz, ante este problema surgen los *WNCS* cuyo campo de aplicaciones sigue creciendo y aún no ha sido explotado en su totalidad [4], [5].

Una de las aplicaciones que refleja la viabilidad de los *WNCS* en el campo industrial es “Monitoreo y Control Remoto Inalámbrico de una Instalación Solar Fotovoltaica” en el cual mediante controladores y sensores que interactúan en una *WAN* (*Wireless Area Network*); voltaje, corriente y potencia son monitoreados y controlados [6].

La Universidad Estatal de Sao Paulo desarrolló un módulo didáctico para el estudio de *WNCS* compuesta por un

módulo controlador de motores DC (velocidad y posición) y una planta de proceso (*FESTO*,) en la cual se controla temperatura, flujo, presión y nivel [7].

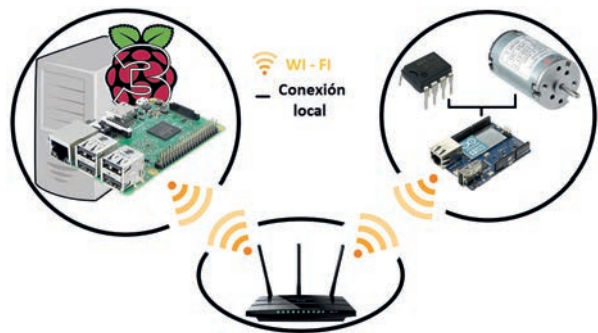
La validez de la conexión en red de máquinas en sistemas de automatización de fabricación fue reconocida hace más de 30 años. En la década de 1980, General Motors desarrolló el Manufacturing Automation Protocol (MAP) [16] a pesar de la validez de este sistema en la industria quedó atrás debido a la falta de tecnología y robustez de la época. La validez de esta conexión generó el desarrollo de protocolos propios de cada fabricante haciéndolos incompatibles entre sí hasta que un cambio comenzó a principios de los 90 cuando la World Wide Web popularizó los protocolos HTTP sobre IP [17].

En 1994, el primer robot industrial se conectó a la Web con una intuitiva interfaz gráfica de usuario que permitía a los visitantes teleoperar el robot a través de cualquier navegador de Internet [18]. A mediados y finales de la década de 1990, los investigadores desarrollaron una serie de interfaces de Internet para robots y dispositivos para explorar cuestiones tales como interfaces de usuario y robustez [19], [20] que inició el subcampo de “en red Robotics” [15], [21], [22].

3. ESTRUCTURA Y MODELO DEL SISTEMA CONTROLADOR DE VOLTAJE DC

El sistema de control de voltaje presentado se comunica dentro de una red WAN. El cliente (sensor-actuador) está localizado en la planta, en este nodo se usa *ArduinoUNO + Dragino*. En el servidor se encuentra el controlador, implementado en un sistema embebido como es el *Raspberry Pi 3*.

Figura 1. Dispositivos utilizados en la implementación del WNCS



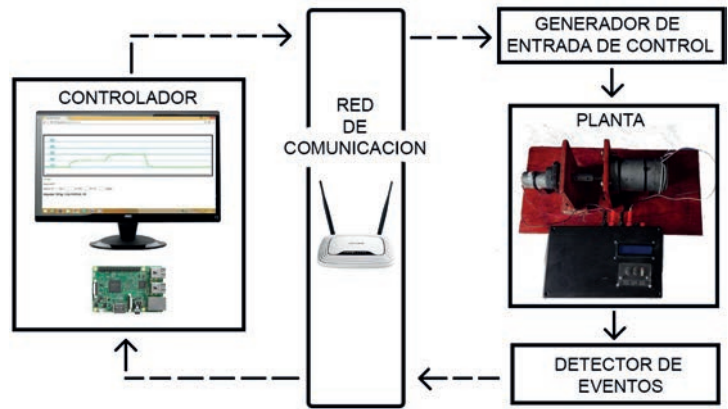
3.1 Estructura del Sistema

3.1.1 Controlador (Servidor WEB local)

El controlador, que en este caso es un PID (servidor *WEB*: recepción y presentación de datos, servidor *PHP*: pro-

cesa y almacena los datos de la planta, servidor *SQL*: base de datos), está albergado en una tarjeta *Raspberry PI 3*, a este servidor se puede acceder desde cualquier computador conectado en la misma red de comunicación WAN que cuente con los permisos necesarios.

Figura 2. Estructura Del Sistema



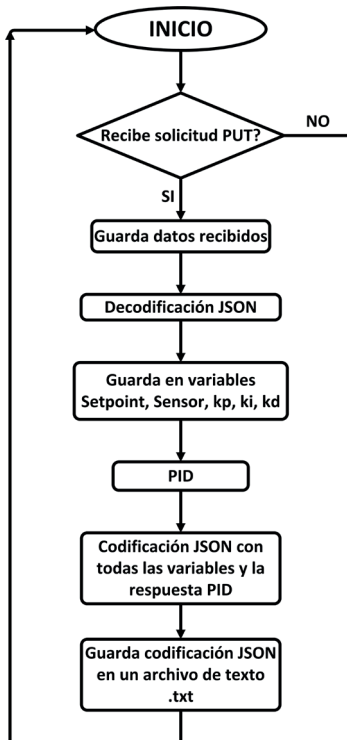
3.1.2 Comunicación Cliente – Servidor

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la comunicación.

Figura 3. Diagrama de Comunicación Entre Cliente-Servidor



Figura 4. Flujograma Servidor WNCs del sistema implementado



3.1.3 Generador de Entrada de Control

Se constituye de la siguiente manera:

- Dragino*: Se enlaza a una WAN para acceder e interactuar con el servidor, de esta manera puede recibir la respuesta discreta del controlador y se la presenta al procesador (*Arduino UNO*).
- Arduino UNO*: Los datos presentados a él por *Dragino* son recibidos, descomprimidos y decodificados mediante el formato *JSON* basado en *JScript*, obteniendo de esta forma la respuesta del sistema que es enviada a una salida *PWM*.

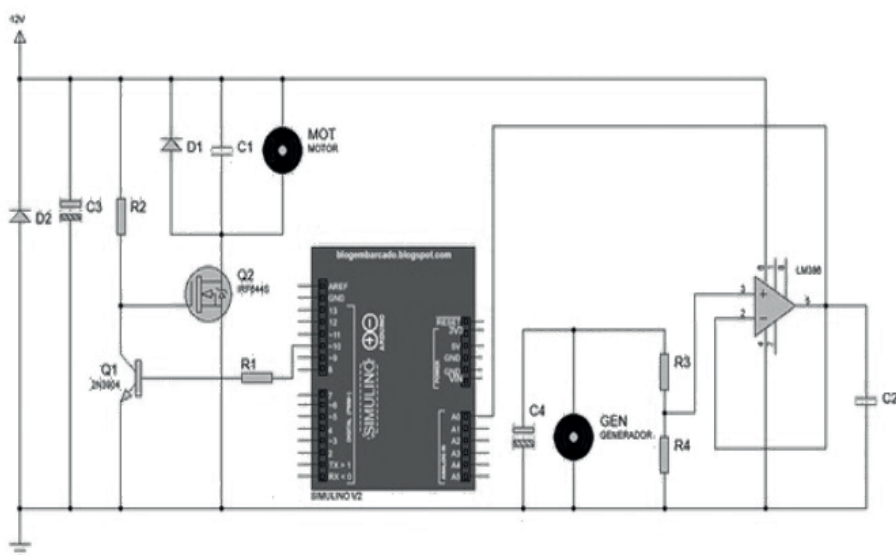
3.1.4 Cliente Sensor-Actuador

El valor medido en la planta pasa por un proceso de acondicionamiento de señal y es enviado al controlador y comparado con el *SP* (*Set Point*) espe-

cificado; el error presente en la planta es procesado en un algoritmo *PID* discreto en el servidor el cual retorna un valor comprendido entre 0 - 255 (255→0%; 0→100% del voltaje entregado al motor), este valor activará una salida *PWM* en el *Dragino* el cual a su vez provocará la conmutación en un *Mosfet* encargado de controlar al motor.

En caso de que el sistema llegue a estabilizarse o que la comunicación llegue a fallar, el cliente (Placa Arduino) tiene conFigurado un controlador estimador el cual se encargará de realizar el control en lazo abierto en lugar del controlador *PID* del servidor.

Figura 5. Diagrama Esquemático Control *PWM*

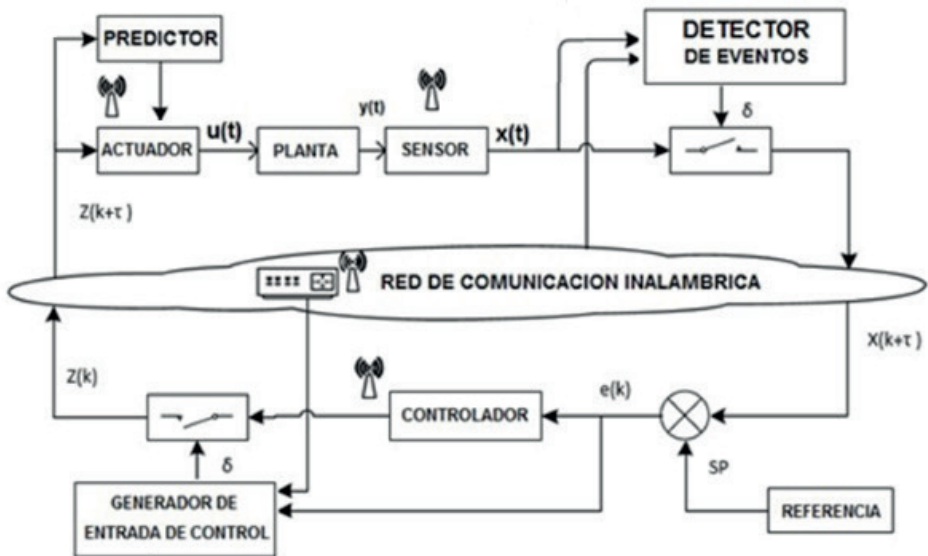


3.1.5 Detector de Eventos

La utilización de un detector de eventos se vuelve indispensable, ya que la red de comunicación (WAN) usada para la transmisión de datos con el servidor (controlador) es un recurso limi-

tado del sistema, por lo que no se debe monopolizar constantemente su uso. El detector de eventos decidirá si es necesario el uso de la red para el control de la planta ante incidentes como perturbaciones en la planta o cambio de *SP* desde el servidor.

Figura 6. Estructura del Sistema WNCS Implementado



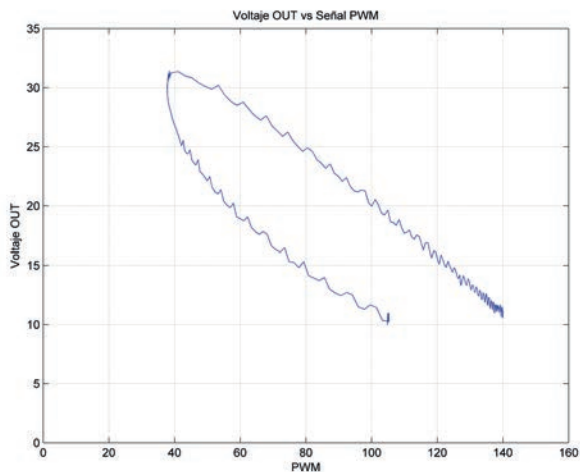
3.2 Metodología para la Simulación e implementación

3.2.1 Obtención de Datos

Se toma muestras de entrada y salida de la planta con un tiempo de muestreo

de 10ms y un retardo en su comportamiento de 450ms, con un rango de voltaje en el generador de 10v a 30v.

Figura 7. Gráfica de la muestra Voltaje de Salida VS Señal PWM



En la Figura 6 se observa los datos obtenidos y se puede dividir la gráfica en dos tramos.

El primero:

Señal PWM $\approx 105 \rightarrow$ Voltaje de salida $\approx 10v$

Señal PWM $\approx 38 \rightarrow$ Voltaje de salida $\approx 30v$

En este tramo el motor vence la inercia del reposo.

El segundo:

Señal PWM $\approx 38 \rightarrow$ Voltaje de salida $\approx 30v$

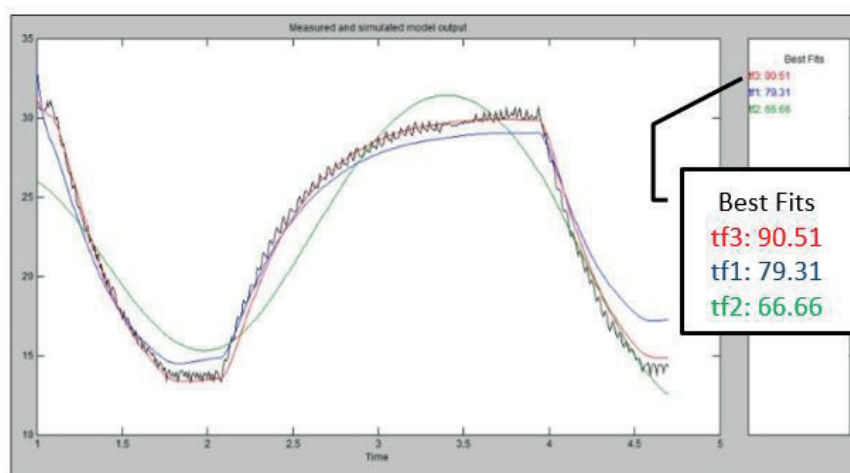
Señal PWM $\approx 140 \rightarrow$ Voltaje de salida $\approx 10v$

En este tramo se representa el comportamiento real del sistema.

3.3 Obtención del Modelo Matemático

Los datos adquiridos mediante Arduino, se trasladan a Excel, y se exportan a *Matlab* para la obtención del modelo matemático, en este caso se exportó 3 grupos de muestras. Se inicia la herramienta *Ident*, para cada grupo de datos realiza un estimado de Función de Transferencia (TF), comparándolas con la opción “*Model Output*”, se escoge la que presente mejor aproximación.

Figura 8. Diagrama del Sistema Controlador del Voltaje DC



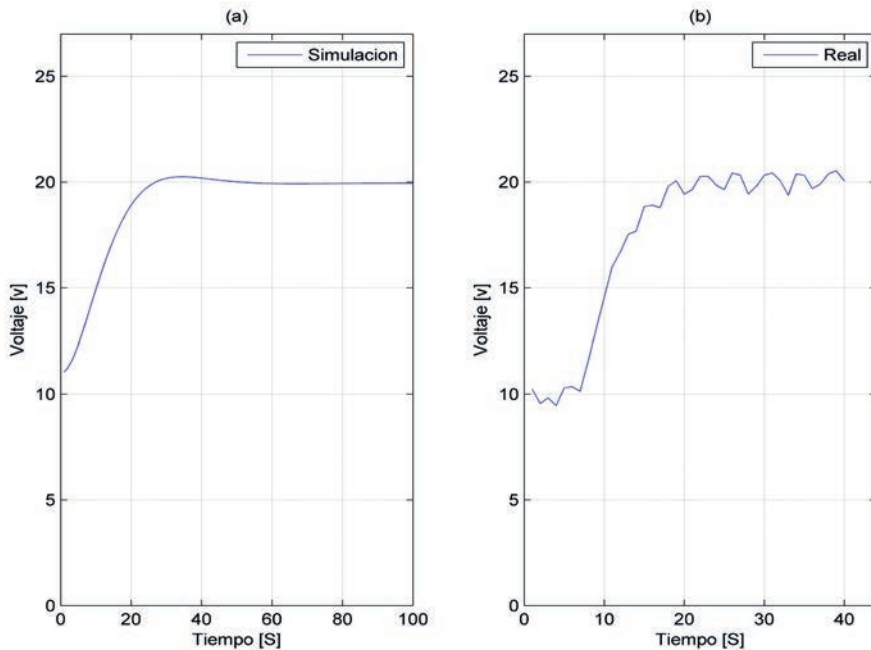
La TF con mayor aproximación fue “tf3” con 90.51% presentada a continuación.

$$tf3 = \frac{-4.671s + 0.2269}{s^2 + 19.27s + 0.5188} \quad (1)$$

El siguiente paso es discretizar la TF elegida previamente, utilizando *Matlab*, lo que da como resultado:

$$tf3 = \frac{-0.04247z^{-1} + 0.0425z^{-2}}{1 - 1.825z^{-1} + 0.8247z^{-2}} \quad (2)$$

Con la TF discretizada, se realiza pruebas que verifiquen la validez y semejanza con la planta real, para esto se simula la TF escogida a diferentes “kp” y se compara con gráficas reales de la planta, los resultados son presentados en las Figuras 8 y 9.

Figura 9. (a) Muestra Simulada a $k_p=0.3$ (b) Muestra Real a $k_p=0.3$ 

En las Figuras 8 y 9 se observa las gráficas de las simulaciones a diferentes “ k_p ”. En el lado derecho se encuentran

las gráficas reales de la planta y en el lado izquierdo las que fueron simuladas utilizando la TF.

4. RESULTADOS

A continuación se mostrarán los resultados del sistema implementado, centrándonos en el controlador alojado en la Raspberry Pi 3, se podrá apreciar gráficas del comportamiento del sistema en diferentes condiciones:

Enlazado con el servidor (controlador PID).

Al existir latencias en la red.

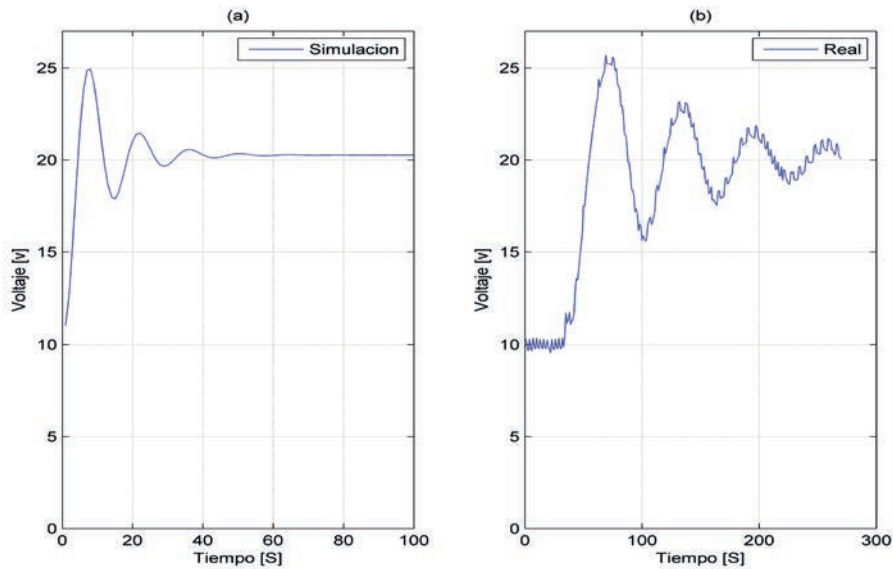
Perturbaciones.

Cambios de SP.

Al activarse el control predictivo.

En la Figura 10 el sistema parte del reposo, al enviar un SP de 20V, se presenta un sobre pico hasta alcanzar la estabilidad, ciertas latencias que se presentan en la comunicación hacen que el control varíe, al reanudarse la comunicación se vuelve a estabilizar en el SP establecido, posterior a esto se presentan varios cambios de SP en los que se puede ver que el sistema responde de manera adecuada.

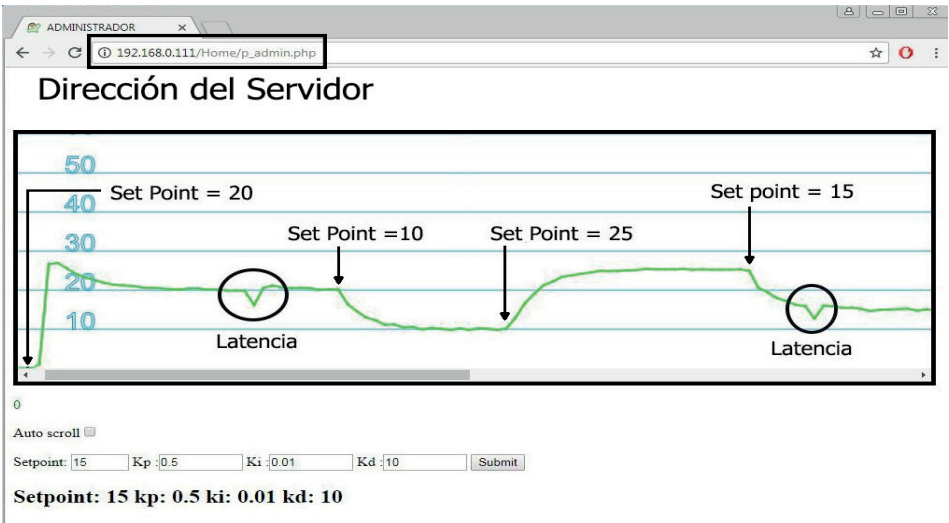
Figura 10. (a) Muestra Simulada a $k_p=5$ (b) Muestra Real a $k_p=5$



La Figura 11 muestra el comportamiento del sistema al entrar el Algoritmo predictivo, lo cual en este caso ocurrió debido a que el tiempo de espera para el envío y recepción de datos

superó el límite establecido, también se observa en la gráfica un pico negativo por pérdida de comunicación, a lo cual en la planta no se reflejó esta caída de tensión.

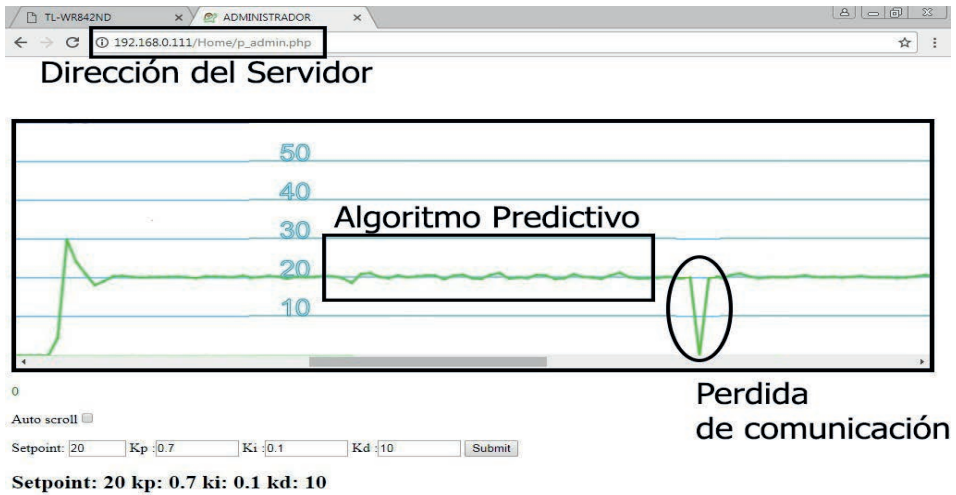
Figura 11. Cambios de Set Point Voltaje (V) vs Tiempo (s)



En el controlador, como se presenta en las Figuras 10 y 11, muestran una respuesta normal de un PID, el único efecto presente debido a las latencias en la comunicación se presenta como una descompensación en la ganancia de controlador la cual se compensa aumentando la ganancia.

Como se aprecia en ciertos intervalos de funcionamiento del sistema, cuando las condiciones son óptimas la precisión de control es semejante a un control local limitado únicamente por defectos mecánicos en la planta.

Figura 12. Respuesta del Algoritmo Predictivo Voltaje (V) vs Tiempo (s)



5. CONCLUSIONES

Para la una mejor administración en el uso de la red se implementó algoritmos predictivos, los cuales se encargarán del control de la planta en caso de desconexión momentánea de la red; estos algoritmos permiten la estabilización de la planta.

Para la comunicación Cliente-Servidor el protocolo utilizado fue *JSON* mediante el cual se encapsula y des-encapsula el conjunto de datos de manera confiable lo que proporciona un mayor

grado de seguridad y velocidad en el tratamiento de los datos.

El controlador PID fue programado en la *Raspberry* mediante lenguaje *PHP* el cual representa una ventaja debido a que es un lenguaje para programar servicios en la nube.

A pesar de que en la sección de resultados se presentó una solución para compensar las latencias de la red, esta no es una solución definitiva debido a que las latencias no son fijas sino que

varían en función a diferentes variables por lo que no se puede tener un comportamiento completamente controlable lo cual representa una desventaja en este tipo de sistemas.

A pesar de las limitaciones por las tensiones el desempeño del controlador es apropiado para procesos de baja, media precisión y de tiempos de respuesta no críticos ya que debido a pérdida de datos o la comunicación genera desestabi-

lización del sistema y por ende aumenta el tiempo de estabilización.

Si se garantiza condiciones óptimas y una buena administración del ancho de banda, el sistema puede tener un desempeño que no envidiaría en nada a un control local, disminuyendo de esta forma cableado, conectores, controladores locales y mejoraría la detección de fallas en los procesos, los cuales son las principales ventajas encontradas en la aplicación de esta tecnología.

REFERENCIAS

- [1] J. S. Ting, "Arquitectura de Software Para los Actuales Sistemas Ciber-Físicos", *Ingenierías USBmed.*, vol. 2, Enero-Junio, 2011, pp. 29-32.
- [2] E. de la Fuente, R. Mazaeda, "Industria 4.0", presentado en *Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales*, Valladolid, 2016.
- [3] M. C. F. Donkers, "Networked And Event-Triggered Control Systems," Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Eindhoven, Eindhoven, Países Bajos, 2011.
- [4] J. P. Hespanha, P. Naghshtabrizi, & Y Xu, "A Survey Of Recent Results In Networked Control Systems", *Proceedings of the IEEE*, vol. 95, Marzo, 2007, p. 138.
- [5] M. Guinaldo, J. J. Sánchez y S. Dormido, "Diseño de un Sistema de Control Anticipativo Basado en Paquetes para Control en Red". En *Proc. Ninth Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (CISCI'10)*, Orlando (Estados Unidos), 2010.
- [6] M. G. Molina, M. E. Andreoni, & F. J. Galdeano, "Monitoreo y Control Remoto Inalámbrico de una Instalación Solar Fotovoltaica". En *XV Encuentro Regional Ibero-americano del CIGRE. (ERIAC)*, Foz de Iguazú-PR (Brasil), 2013.
- [7] E. P. Godoy, T. de Almeida Oliveira, I. S. Diniz, y J. V. Porto, "Development of a Testbed for Hybrid Networked Control Systems". *Symposium Series in Mechatronics. (ABCM)* vol. 6, Agosto, 2014, pp. 29-32.
- [8] P. Mell, T. Grance, "La definición del NIST de la computación en la nube", Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, 2009.
- [9] V. Kumar, N. Michael, "Opportunities and challenges with autonomous micro aerial vehicles", *Int. J. Robot. Res. (IJRR)*, vol. 31, no. 11, pp. 1279-1291, 2012.
- [10] N. Michael, D. Mellinger, Q. Lindsey, V. Kumar, "The GRASP multiple micro UAV testbed", *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 17, no. 3, pp. 56-65, 2010.
- [11] R. D'Andrea, "Guest editorial: A revolution in the warehouse: A Retrospective on KIVA systems and the grand challenges ahead", *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng. (T-ASE)*, vol. 9, no. 4, pp. 638-639, Oct. 2012.
- [12] "KIVA Systems", 2014.
- [13] A. J. Quinn, B. B. Bederson, "Human computation: A survey and taxonomy of a growing field", *Proc. SIGCHI Conf. Human Factors Comput. Syst.*, pp. 1403-1412, 2011.

- [14] L. von Ahn, Human computation, Carnegie Mellon Univ., 2009.
- [15] Kehoe, B., Patil, S., Abbeel, P., & Goldberg, K. (2015). A survey of research on cloud robotics and automation. *IEEE Transactions on automation science and engineering*, 12(2), 398-409.
- [16] J. D. Irwin, The Industrial Electronics Handbook, USA, FL, Boca Raton: CRC Press, 1997.
- [17] M. Narita, S. Okabe, Y. Kato, Y. Murakwa, K. Okabayashi, S. Kanda, "Reliable cloud-based robot services", *Proc. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, pp. 8317-8322, 2013.
- [18] K. Goldberg, "Beyond the Web: Excavating the real world via mosaic", *Proc. 2nd Int. World Wide Web Conf.*, pp. 1-12, 1994.
- [19] K. Goldberg, B. Chen, "Collaborative control of robot motion: Robustness to error", *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, vol. 2, pp. 655-660, 2001.
- [20] K. Goldberg, M. Mascha, S. Gentner, N. Rothenberg, C. Sutter, J. Wiegley, "Desktop teleoperation via the world wide web", *Proc. Int. Conf. Robot. Autom. (ICRA)*, pp. 654-659, 1995.
- [21] Beyond Webcams: An Introduction to Online Robots, USA, MA, Cambridge: MIT Press, 2002.
- [22] G. McKee, "What is networked robotics?", *Informatics in Control Automation and Robotics*, vol. 15, pp. 35-45, 2008.

Predicting the risk of non-payment through a mathematical model using simulated data

Predicción del riesgo de no pago mediante un modelo matemático con datos simulados

R. Morales¹, M. Valdez²

Abstract: *This document uses a logistic regression model to calculate the probability that a client fails to pay a credit in a microfinance institution; the model uses data from samples generated by a Simulation process, which assumes a known probabilistic distribution function. For this simulation are taken different sample sizes ($n = 3000$, $n = 1000$, $n = 500$, $n = 150$), obtaining a predictive model statistically parsimonious and with robust predictive power, the results obtained show consistency with the empirical data.*

Keywords: *risk, microcredit, simulation, logistic regression.*

Resumen: En el presente documento se emplea un modelo de regresión logística para calcular la probabilidad de que un cliente incumpla con su obligación de pagar un crédito en una institución microfinanciera, el modelo utiliza datos de muestras generados por un proceso de simulación, el cual supone una función de distribución probabilística conocida. Para dicha simulación se toman distintos tamaños de muestras ($n=3000$, $n=1000$, $n=500$, $n=150$), obteniéndose un modelo predictivo estadísticamente parsimonioso y con poder predictivo robusto, los resultados obtenidos muestran consistencia con los datos empíricos.

Palabras clave: riesgo, microcrédito, simulación, regresión logística.

1 Dr. Rafael Morales Ibarra, profesor investigador de la Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Tenancingo, México, rmoralesi@uaemex.mx
2 Dra. María Eugenia Valdez Pérez, profesor investigador de la Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Tenancingo, México, mavaldezp@uaemex.mx

1. INTRODUCCIÓN

El uso y aplicación de modelos matemáticos en el ámbito de las microfinanzas no es común, ya que la falta de información y cultura en el manejo de información estadística no está arraigada en dichas instituciones. Las microfinancieras operan principalmente en regiones rurales, donde el perfil del cliente complica la conformación y sistematización de bases de datos, además de que es nula o escasa la literatura y trabajos específicos que abordan el tema [1].

En el ámbito bancario y financiero existe un alto riesgo de no recuperar los montos financiados, y el sector de microfinanzas no es la excepción, ya que el problema de morosidad tiene el mismo nivel de importancia que en cualquier otra institución financiera o bancaria. Por ello, tanto las grandes instituciones financieras como las microfinancieras requieren de mecanismos eficientes que les permitan reducir sus índices de No pago. Bajo este contexto, la regresión logística es una alternativa aceptable para servir de apoyo al criterio humano cuando se busca otorgar un crédito [2]-[5].

La morosidad representa un riesgo para cualquier institución crediticia, por ello, estas requieren de estudios que

les permitan minimizar sus índices de cartera vencida. Si bien en la literatura disciplinar se pueden encontrar diferentes trabajos aplicados con técnicas, métodos y herramientas que abordan el riesgo de incumplimiento de los clientes en el ambiente financiero, pero no es el caso de las microfinanzas por ello, el presente documento emplea un modelo de regresión logística con datos de una institución microfinanciera que derivar un modelo matemático alimentado con datos simulados que busca calcular la probabilidad de que un cliente con un perfil determinado incumpla en su pago.

Cuando se tiene un modelo en el cual la variable dependiente es binaria, y con variables explicatorias de tipo cualitativo y cuantitativo la regresión logística es una opción correcta, así para el caso que nos ocupa, se asigna el valor de 1 cuando el cliente incurre en mora y 0 en caso contrario. La bondad de emplear estas técnicas en estudios de riesgos crediticios, radica en que a través de ellos se logra calcular la probabilidad de que un cliente bajo determinadas características no devuelva el crédito³; con ello una institución puede disponer de información adicional que le permita disminuir sus niveles de morosidad.

2. MÉTODO

El modelo matemático que se propone en la literatura para predecir el resultado de una variable categórica en

función de variables independientes es la regresión logística [6]-[8]. Si bien existen los modelos de regresión logís-

3 Esta probabilidad se le conoce como riesgo de morosidad.

tica multinomial, el presente ejercicio emplea la regresión logística binaria.

La ecuación de la regresión logística es:

$$P(Y) = \alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (1)$$

Los coeficientes de regresión logística ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$) expresan variación de la probabilidad de ocurrencia de Y ante un cambio unitario de la variable independiente correspondiente, manteniéndose las demás variables explicativas constantes [9]. El término ε representa el término de perturbación o error de estimación.

Al escribir el modelo logístico en términos de Log Odds ³ el logaritmo natural de la razón de probabilidad de que ocurra un evento respecto a la probabilidad de que no ocurra ⁴ la relación entre la variable independiente con Y se convierte en lineal.

Así el odds ratio ⁴ se representa de la siguiente manera:

$$Odds = \frac{\text{Probabilidad de ocurrencia de } Y}{\text{Probabilidad de no ocurrencia de } Y} = \frac{P(Y = 1)}{1 - P(Y = 1)} = \frac{P(Y = 1)}{P(Y = 0)} \quad (2)$$

Realizando la transformación logarítmica de odds (o razón de probabilidades), se obtiene Logit (Y):

$$\text{Logit}(Y) = \ln \left[\frac{P(Y = 1)}{1 - P(Y = 1)} \right] = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (3)$$

Esta transformación de odds en logaritmo natural de odds produce una variable que va de $-\infty$ (cuando $P[Y=1]=0$) hasta $+\infty$ (si $P[Y=1]=1$). Una expresión así lleva a los modelos logit. Su interpretación es relativamente mucho más accesible; los coeficientes (Betas) se in-

terpretan como cambios en el log-odds asociado con un cambio unitario en la variable independiente correspondiente.

Realizando la transformación exponencial ⁵ del Logit (Y) resulta la expresión (4).

$$P(Y = 1) = \frac{e^{\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k}}{1 + e^{\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k}} \quad (4)$$

La ecuación (4) representa la probabilidad de que un evento concreto ocurra, la cual está condicionada por el conjunto de valores que adopte la serie

de “k” variables predictorias. Por lo tanto, la probabilidad de que “no ocurra” $P(Y = 0) = 1 - P(Y = 1)$ se obtiene de la siguiente ecuación.

⁴ Se entiende como la razón de probabilidades.

⁵ Con la finalidad de facilitar la comprensión en términos de odds que de log-odds.

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1 + e^{\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K}} \tag{5}$$

En (5) los coeficientes de regresión logística muestran el cambio en la variable dependiente (Y), asociado a un cambio de una unidad en X_i , manteniendo el resto de las variables explicativas constantes.

El modelo propuesto es:

$$Pron(Y=y) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \tag{6}$$

Dónde:

Y= Estatus de la morosidad (Y=1 moroso, Y=0, no moroso); X_1 =Número de retrasos en sus pagos; X_2 =Genero; X_3 = Número de dependientes económicos; X_4 = Originario de la región (código postal); X_5 = Ocupación; X_6 = Escolaridad; X_7 = Número de créditos solicitados al año; X_8 =Monto del crédito solicitado; X_9 = Monto otorgado; X_{10} = Plazo a pagar; X_{11} = Tasas de interés; X_{12} = Costo Anual Total (CAT); X_{13} =Destino del crédito otorgado.

3. RESULTADOS

La Tabla 1 muestra que X_1 =número de retrasos por parte del cliente en sus obligaciones (variable discreta) con un coeficiente⁶ igual a 2.516, manteniendo constante el resto de los predictores, indica que un cambio unitario produce un aumento de 2.516, unidades logit en la variable dependiente.

Tabla 1. Variables estadísticamente significativas

	B	Std. Error	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
X1	0.923	0.330	7.812	1	0.005	2.516
X_7	-0.95	0.573	2.775	1	0.096	0.385
X_8	0.000	0.000	2.417	1	0.120	1.000
X_{10}	0.384	0.380	1.018	1	0.013	1.468
X11	-0.006	0.046	0.020	1	0.008	0.994
X5			3.060	4	0.548	
X5(1)	2.487	220.722	0.000	1	0.999	566.09
X5(2)	0.858	1.289	0.443	1	0.506	2.358

6 Los coeficientes estandarizados se interpretan de forma similar en regresión logística y en regresión lineal. Así un aumento o disminución (depende de si el signo es positivo o negativo) de las desviaciones típicas en Logit (Y), asociado con un aumento o disminución en la variable independiente, igual a la cuantía correspondiente al coeficiente estandarizado.

	B	Std. Error	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
X5(3)	1.944	1.282	2.301	1	0.129	6.988
X5(4)	-20.0	28420.7	0.000	1	0.999	0.000
Const	-0.576	1.798	0.103	1	0.748	0.562

El de $\text{Exp}^{(B)} = e^{(2.516)} = 12.3789$ indica que cuando X_i cambia en una unidad, la variable dependiente (Y) varía en 12.3789, suponiendo constante el resto de los predictores. Esta interpretación puede hacerse en términos porcentuales, tal que $100 \cdot (e^{2.516} - 1)$ expresa el porcentaje de cambio en la variable dependiente para un incremento de una unidad en el i -ésimo predictor. Así el cambio porcentual que produce en la variable dependiente al cambiar X_i en una unidad es igual a $100 \cdot (12.3789 - 1) = 1,137\%$. Esta cantidad refleja, en términos porcentuales, la importancia del número de retrasos de un cliente en la probabilidad de no pago en un crédito.

3.1 Bondad de ajuste del modelo

Con el siguiente test de confiabilidad se corrobora la significancia del modelo:

H₀: El modelo es estadísticamente significativo

H₁: El modelo no es estadísticamente significativo

Empleando a 2Log como estadístico de prueba y asumiendo que $-2\text{Log} \sim \chi^2$

$k-2$ gl se obtiene el siguiente criterio de decisión: si el p-valor < 0.05 , entonces se rechaza la hipótesis nula; por el contrario si el p-valor > 0.05 la hipótesis nula no se rechaza.

En el caso particular de este estudio, como $-2\text{Log} = 39.921$ con 62 gl y un $\alpha = 0.246$, la decisión a tomar sería no rechazar la hipótesis nula.

El modelo es estadísticamente significativo para predecir la probabilidad de que un cliente incumpla en sus obligaciones de pagar un crédito en una microfinancera, adicionalmente la prueba Hosmer Lemeshow [10] presenta un p-valor > 0.05 . Así bajo H_0 :⁷ se ratifica que los resultados del modelo se ajustan satisfactoriamente a lo esperado.

En la Tabla 2 de contingencia de la prueba de H-L (se calculan los intervalos de los valores observados y esperados) se observa la proximidad entre estos valores reales y teóricos. Lo que permite argumentar que usar el modelo obtenido para realizar las predicciones es correcto, por lo que, esta tabla también es un mecanismo de calibración del modelo propuesto.

7 En el Test de bondad de ajuste suele plantearse Hipótesis nula, en términos de afirmar que el modelo propuesto se ajusta a lo observado.

Tabla 2. Tabla de Contingencia, prueba de H-L

	Y = SI PAGA		Y = NO PAGA		Total
	Observado	Esperado	Observado	Esperado	
1	7	7.000	0	0.000	7
2	6	6.000	0	0.000	6
3	6	5.964	0	0.036	6
4	6	5.728	0	0.272	6
5	5	5.547	2	1.453	7
6	5	3.632	1	2.368	6
7	3	3.069	3	2.931	6
8	1	1.819	5	4.181	6
9	0	1.018	7	5.982	7
10	1	0.224	6	6.776	7

Con un nivel de significancia de 0.603, se determina qué el modelo presenta una alta significancia del 60%, indicando un buen grado y bondad de ajuste.

Al observar en la Tabla 3 la clasificación de los casos observados contra los

casos pronosticados, se muestra que el modelo tiene una tasa total de pronósticos correctos del 87.5%, es decir, los pronósticos tanto de morosos como no morosos clasificados de manera correcta con respecto a su clase observada.

Tabla 3. Clasificación

Observado		Pronosticado		
		Y		Porcentaje correcto
		SI PAGA	NO PAGA	
Y	SI PAGA	37	3	92.5
	NO PAGA	5	13	79.2
Porcentaje global				87.5

La tasa de clasificación entre los cliente no morosos (pronosticados) como los realmente que no son morosos, es del 92.5%; mientras que el modelo clasifica en un 79.2% correctamente a los clientes morosos (verdaderos positivos); cliente pronosticado como moroso y que finalmente fue moroso, el porcentaje global es

de 87.5% en cuanto a la capacidad predictiva del modelo es muy bueno.

La Tabla 4 muestra los coeficientes betas (β s) del modelo, así como el estadístico de significancia (Sig) de Wald, el cual permite saber si las variables predictoras del modelo contribuyen a

pronosticar si un cliente determinado puede ser moroso o no. Con $\alpha=05$, las variables significativas resultaron ser: X_1 = El número de retrasos por parte del cliente en su pago, X_{10} = El plazo

otorgado para liquidar la deuda, X_{11} = la tasa de interés en el mercado de microcréditos y al 90% de confianza la variable monto solicitado resultaría significativa.

Tabla 4. Variables significativas

	B	Std. error	Wald	Sig	Exp(b)
X1	0.923	0.330	7.812	0.005	2.516
X7	-0.954	0.373	2.775	0.096	0.385
X8	0.000	0.000	2.417	0.120	1.000
X10	0.384	0.380	1.018	0.013	1.468
X11	-0.006	0.046	0.020	0.008	0.994
X5(1)	2.487	220.72	0.000	0.999	566.09
Const	-0.576	1.798	0.103	0.748	0.562

Empleando los coeficientes estimados de la Tabla 4, columna B, y los valores de las variables para cada caso en la base de datos simulada, podemos estimar la probabilidad o riesgo de morosidad de cada cliente. Por ejemplo, Un cliente con 2 retrasos en su pago;

47 años de edad; ocupación (1); Grado de escolaridad de primaria; asumiendo una deuda a 4 meses; con una tasa de interés del 15.7 mensual y con un destino para el consumo la predicción de riesgo de morosidad para el primer expediente:

$$= \frac{1}{1 + \exp[-(0.562 - 2.516 \times (2) - 0.385 \times (15) - 1.468 \times (4) - 9.94 \times (15.7)]} = 0.0213 \quad (7)$$

El caso que se ilustra es para un cliente que no cumple con sus compromisos de pago, con dos incumplimientos y una cantidad solicitada de 15 mil pesos a pagar en 4 meses a una tasa de interés del 15.7% al mes, bajo estas características se vislumbra el perfil de un cliente pagador.

Los Exp(B) ³/₄odd ratios³/₄ pueden compararse entre sí para saber qué variable tienen más influencia en la variable dependiente. Así cuando $\text{Exp(B)} >$

1 indica que un aumento en la variable independiente, aumentará los odds para que ocurra el evento ($Y=1$, No paga).

Cuando el $\text{Exp(B)} < 1$; indica que un aumento de la variable independiente, reduce la posibilidad (odd ratios) de que ocurra el evento (variable dependiente). Cuanto más se aleja de 1, más fuerte es la relación entre las dos variables. Cuando el valor del odd ratio (o Exp(B)) es menor a 1 se recomienda calcular su inversa para no cometer

equivocaciones y poder comparar todos los Exp(B).

En resumen, los indicadores de bondad del ajuste del modelo en la primera iteración de solución, ilustra que tres parámetros tienen una bondad de ajus-

te buena desde la primera iteración, ya que el valor del logaritmo de la verosimilitud es hasta 39.921, indicando que esta está maximizada, y con un R^2 de Nagelkerke de 0.686 y R^2 de Cox y Snell de 0.505.

4. CONCLUSIONES

El modelo matemático obtenido permite estimar el riesgo de morosidad en una institución microfinanciera, por su bondad de ajuste la propuesta clasifica adecuadamente los datos, por lo que se considera adecuado para estudios empíricos.

El estadístico $-2\text{Log de Verosimilitud}$ muestra en lo general que las predicciones son aceptables ya que las frecuencias observadas son muy similares a las esperadas.

El poder de predicción es del 87,5%, lo que se juzga como aceptable para predecir probabilísticamente la posibilidad de que un cliente incurra en incumplimiento de sus obligaciones crediticias.

De las 13 variables originalmente consideradas, sólo 4 quedan en el modelo final teniendo un poder de predicción suficiente para diagnosticar a los clientes morosos.

Con el 87.5% de precisión en las predicción, sólo hubo un error de 3 casos donde las MF con estatus 1, el modelo le asignó estatus 1 (no paga), y 5

casos con estatus 1, el modelo asignó erróneamente con estatus 0 (sí paga).

El proceso de simulación se detuvo en una muestra relativamente menor al realizado en los estudios empíricos, ya que si bien se procedió a realizar simulaciones con distintos tamaños de muestra, los cuales no mostraron consistencia con los datos empíricos. La muestra simulada $n=150$ fue consistentemente con los resultados del estudio de campo.

El estudio del riesgo de No pago en las entidades microfinancieras rurales no es fácil dado debido a su estructura y carencia de información, así como la diferencia en el perfil del cliente que es totalmente distinto al perfil de clientes de las grandes corporaciones bancarias y financieras.

Finalmente, al contrastar los resultados del modelo matemático teórico con los resultados reales, y según su alcance recomienda poner especial atención en la validación de la base de datos, calibrando las distribuciones con los datos reales.

REFERENCIAS

- [1] M. Beledo. Las Microfinanzas: un modelo de calificación estadística para una institución especializada en microcréditos de Uruguay “Tesis de grado, Montevideo, pp. 24, 2007.
- [2] Chaibi, H., y F. Zied. Credit risk determinants: Evidence from a cross-country study, *Research in International Business and Finance*, 33, pp.1-16, 2015.
- [3] R. Morales. “Las microfinanzas en el Estado de Mexico” UAEMEX, junio 2013.
- [4] Díaz-Quevedo, O. Determinantes del ratio de morosidad en el sistema financiero boliviano”, Banco Central de Bolivia, Documento de Trabajo, 2009.
- [5] Vallcorba, M., y J. Delgado (2007). Determinantes de la morosidad bancaria en una economía dolarizada. El caso uruguayo, Banco de España, Documento de Trabajo No. 722.
- [6] D. Peña. *Análisis de Datos Multivariantes*, Madrid, España, McGraw Hill, 2002.
- [7] L. Pérez. *Técnicas de Análisis de datos con SPSS*. Pearson Prentice Hall, 2009.
- [8] B. Visauta y J. Martori. *Análisis Estadístico con SPSS para Windows*. Volumen II, Estadística Multivariante. McGraw Hill/Interamericana de España, 2003.
- [9] D. Kleinbaum y M.Klein. *Logistic Regression a Self-Learning Text*. Third edition, Springer, 2010.
- [10] D. Hosmer, y S. Lemeshow. *Applied Logistic Regression*. Second edition. Wiley series in probability and statistics, 2000.

Johnson's algorithm for three machines in the production planning of a graphic industry

Algoritmo de Johnson para tres máquinas en la planificación de la producción de una industria gráfica

T. Rojas¹

Abstract: *The Johnson algorithm for three machines in production planning in printing industry responds to the need of minimize the overall processing times of the works from the first to three machines, in the case applied within a graphic industry where currently has become a constant need to improve competitiveness and productivity, due to increasingly demanding markets. The scope of this study is limited to determining the most optimal flow of prioritization for the production of products in three machines and to compare them with the current planning method that company handles before applying Johnson's algorithm. Reference the work entered at the beginning of the week. To obtain as a result, a saving of time of use of machines that equals 28.29%, allowing with this to be able to process more works while the analysis is carried out prior to the planning and prioritization of the works.*

Keywords: *graphic industry, production planning, processes, Johnson algorithm.*

Resumen: El algoritmo de Johnson para tres máquinas en la planificación de la producción en una industria gráfica, responde a la necesidad de minimizar los tiempos de procesamiento globales de los trabajos desde la primera a la tercera máquina. Este método fue aplicado dentro de una industria gráfica, ya que actualmente se tiene la necesidad de mejorar la competitividad y la productividad, debido a que los mercados cada vez son más exigentes. El alcance de este estudio se limita a determinar el flujo más óptimo de priorización para la elaboración de los productos en tres máquinas y compararlos con el método actual de planificación que maneja la empresa. Antes de aplicar el algoritmo de Johnson, se tomó como referencia los trabajos ingresados al inicio de la semana. Se llegó a obtener como resultados un ahorro de tiempo de uso de máquinas que equivale al 28.29%, permitiendo con ello poder procesar más trabajos siempre y cuando se realice un análisis previo a la planificación y priorización de los trabajos ingresados a la empresa.

Palabras clave: industria gráfica, planificación de producción, procesos, algoritmo de Johnson.

¹ Tania Catalina Rojas Párraga, Máster en Gestión de productividad y Calidad, Ingeniera Industrial, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, trojas@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe la necesidad de mejorar los procesos de producción y los servicios que se ofrecen, esto como consecuencia del aumento de la presión competitiva dada por la globalización de los mercados y la incertidumbre económica que viven las empresas ecuatorianas [1][2]. Por lo tanto la producción no es la excepción en cuanto a planificación se refiere, por ello los resultados que se obtengan en beneficio de la empresa se vuelven vitales.

Por esta razón resulta importante visualizar desde el inicio la producción de forma clara y ordenada. Con el fin de evitar contratiempos o inconvenientes que perjudiquen a los resultados esperados y que tengan alguna incidencia negativa en los márgenes económicos de la organización[3].

En ciertas industrias por muchos años la regla de Johnson se ha aplicado con gran éxito para minimizar el tiempo de procesamiento global de n trabajos en 2 máquinas. Los trabajos con menores tiempos de proceso son colocados al principio, si el tiempo de procesado es en la primera máquina, y al final si es en la segunda máquina. Este procedimiento maximiza el tiempo de operación de ambos centros de trabajo [4][5][6].

El algoritmo de Johnson básicamente consiste en la aplicación de los siguientes 4 pasos para dos máquinas:

1. Listar todos los trabajos u operaciones junto con su tiempo de proce-

samiento por cada centro de trabajo o máquina.

2. Seleccionar el tiempo de procesamiento más corto. Como resultado de la aplicación del paso 1 obtenemos dos columnas de tiempos (tiempos del centro de trabajo 1 y 2); Si el tiempo más corto se encuentra en la columna correspondiente al centro de trabajo (máquina) 1, este trabajo se programa primero, caso contrario y de estar en la columna correspondiente al centro de trabajo 2, este trabajo se programa al final. Cualquier empate puede romperse de forma arbitraria.

3. Una vez que se programa un trabajo, sea al inicio o sea al final, este se elimina de la lista inicial.

4. Se deben repetir los pasos 2 y 3 para los trabajos restantes, trabajando hacia el centro de la secuencia [7]-[9].

En el Ecuador, la industria gráfica es un tipo de empresa que fabrica bajo pedido, es por esto que determinar la secuencia óptima de fabricación de artículos es cada vez más compleja; debido al carácter combinatorio de los procesos y las disponibilidades de las maquinarias utilizadas en la elaboración de los productos. Como consecuencia de esto no solo basta planificar sino también controlar lo programado, monitoreando su cumplimiento y aprovechamiento de los equipos e insumos [10].

En el caso del método para tres máquinas se trata de una aplicación especial del algoritmo de Johnson, para esto

se debe cumplir una de las dos condiciones siguientes:

1. El menor de los tiempos de proceso de la máquina uno es mayor o igual que el mayor de los tiempos de proceso de la máquina dos.
2. El menor de los tiempos del proceso de la máquina tres es mayor o igual que el mayor de los tiempos del proceso de la máquina dos.

Cuando, considerando por separado el problema de la máquina uno y dos y el problema de máquina dos y tres, la secuencia es la misma [11].

Al cumplirse una de las dos condiciones se podrá realizar la aplicación del

método para tres máquinas, caso contrario habrá que buscar otra metodología.

Con este antecedente el objetivo de esta investigación es establecer los lineamientos para la aplicación del algoritmo de Johnson en tres máquinas para los procesos de fabricación en una industria gráfica.

Por medio de este manuscrito se aporta a la industria gráfica ecuatoriana, con una metodología para la planificación de la producción. En el cual se describe los pasos para su uso, los resultados obtenidos y la comparación del método de Johnson con el método que usan para planificar en la actualidad.

2. MÉTODOS

Se realizó una investigación in situ para tomar los datos correspondientes a los pedidos confirmados por los clientes al inicio de la semana de trabajo del 24 de abril del 2017.

Se tabuló los números de órdenes de producción, el tipo de producto, la fecha de entrega, la secuencia de las máquinas que intervienen en la fabricación con sus respectivos tiempos ordenados a medida que han sido confirmados. Para realizar la programación correspondiente se respetaron dos condiciones; que todos productos pasen por las mismas máquinas y que hayan ingresado el mismo día.

La programación planificada fue ejecutada para empezar a trabajar el 24 de abril a las 20h00. En este tipo de industria gráfica se labora de acuerdo a la

carga de trabajo y las áreas involucradas podrían extenderse durante las 24 horas del día. Como ya se describió en la introducción en este caso se seguirá las condiciones que deben cumplirse para aplicar el algoritmo de Johnson para tres máquinas, para esto se creará dos máquinas ficticias que permiten simplificar y mostrar la prioridad que se debe seguir para poder optimizar los tiempos de producción.

Las máquinas que intervienen en los procesos son tres: la Prensa plana K20 (identificada como M1), una Guillotina (M2) y una Manufacturadora (M3).

La Tabla 1 nos muestra el orden de ingreso de los pedidos con sus respectivos tiempos de proceso en cada una de las máquinas.

Tabla 1. Listado de productos día 1

OP	Nombre del producto	Tiempos		
		M1	M2	M3
28560	Hojas Membretadas	30	20	60
28552	Sobres Membretados	45	60	90
28276	Tarjetas de presentación 38 personas	60	60	120
28490	Hojas 4 diseños	90	60	180
28563	Catálogo 120 carillas	900	40	240
28489	Carpetas	90	45	540
28559	Tarjetas de presentación	45	60	90
28431	Nota de crédito 50x30	45	30	60
28231	Cuaderno anillado	40	30	750

Fuente: Autor

Observando la Tabla 1 se procede a identificar el tiempo mínimo en la primera máquina, el tiempo máximo en la segunda máquina y por último el tiempo mínimo de la tercera máquina.

Expresado de manera abreviada tenemos lo siguiente:

En M1 y M2

$$\text{Mín1}[Bj] \geq \text{Máx2}[Cj]$$

O en M2 y M3

$$\text{Máx2}[Cj] \leq \text{Mín3}[Dj]$$

De acuerdo a lo descrito anteriormente se obtuvo los siguientes valores:

$$\text{Mín}(M_1)=30$$

$$\text{Máx}(M_2)=60$$

$$\text{Mín}(M_3)=60$$

Se puede observar que se cumple la segunda condición y se da paso a la sumatoria de los tiempos de la primera y segunda máquina (TM1 + TM2) tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores resultantes de TM1 + TM2

OP	Nombre del producto	Tiempos	
		TM1+2	M3
28560	Hojas membretadas	50	60
28552	Sobres membretados	105	90
28276	Tarjetas de presentación son 38 personas	120	120
28490	Hojas 4 diseños	150	180
28563	Catálogo 120 carillas	940	240
28489	Carpetas	135	540
28559	Tarjetas de presentación	105	90
28431	Nota de crédito 50x30	75	60
28231	Cuaderno anillado	70	750

Fuente: Autor

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos luego de la aplicación del algoritmo de Johnson se puede observar en la Tabla 3, que indica el orden de prioridad para el procesamiento de los trabajos.

Tabla 3. Orden de prioridad para el procesamiento de los trabajos

OP	Nombre del producto	Tiempos	
		M1+M2	M3
28560	Hojas membretadas	50	60
28231	Cuaderno anillado	70	750
28276	Tarjetas de presentación 38 personas	120	120
28489	Carpetas	135	540
28490	Hojas 4 diseños	150	180
28563	Catalogo 120 carillas	940	240
28552	Sobres membretados	100	90
28559	Tarjetas de presentación	100	90
28431	Nota de crédito 50x30 cm	70	60

Fuente: Autor

La Tabla 4 muestra los productos con sus tiempos de procesamiento correspondiente a cada máquina. La Tabla 5 muestra las fechas en que requieren los clientes la entrega de sus productos.

Tabla 4. Tiempo de procesamiento para cada producto

OP	Nombre del producto	M1	M2	M3
28560	Hojas membretadas	30	20	60
28231	Cuaderno anillado	40	30	750
28276	Tarjetas de presentación de 38 personas	60	60	120
28489	Carpetas	90	45	540
28490	Hojas 4 diseños	90	60	180
28563	Catálogo 120 carillas	900	40	240
28552	Sobres membretados	40	60	90
28559	Tarjetas de presentación	40	60	90
28431	Nota de crédito 50x30 cm	40	30	60

Fuente: Autor

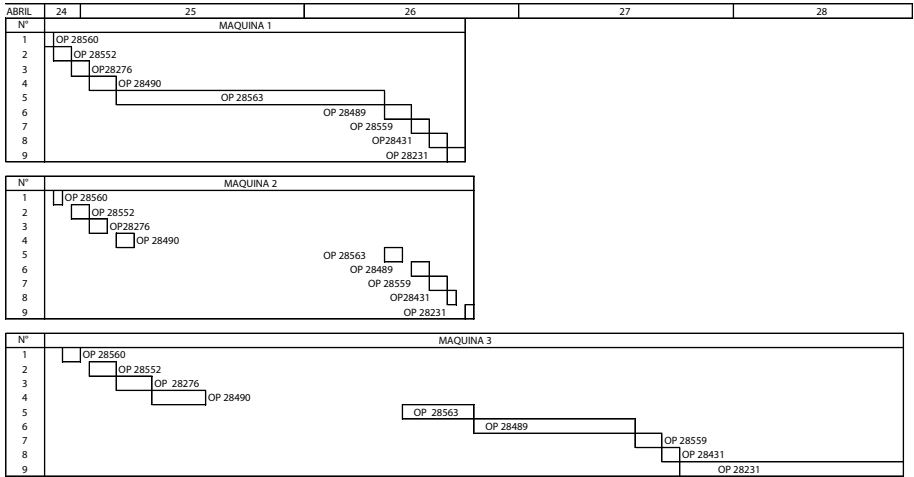
Tabla 5. Fechas de entrega de los pedidos a los clientes

OP	Nombre del producto	Fecha de entrega
28560	Hojas membretadas	26-abr
28231	Cuaderno anillado	1-may
28276	Tarjetas de presentación de 38 personas	28-abr
28489	Carpetas	30-abr
28490	Hojas 4 diseños	30-abr
28563	Catálogo 120 carillas	26-abr
28552	Sobres membretados	28-abr
28559	Tarjetas de presentación	28-abr
28431	Nota de crédito 50x30 cm	28-abr

Fuente: Autor

Además, con el diagrama de Gantt mostrado en las Figuras 1 y 2, se puede observar el tiempo que concluye cada trabajo de acuerdo a la planificación donde intervienen las 3 máquinas. En la Figura 1 se ha considerado el orden de llegada de los productos sin aplicar el método de Johnson.

Figura 1. Programación de la producción sin aplicar Algoritmo de Johnson

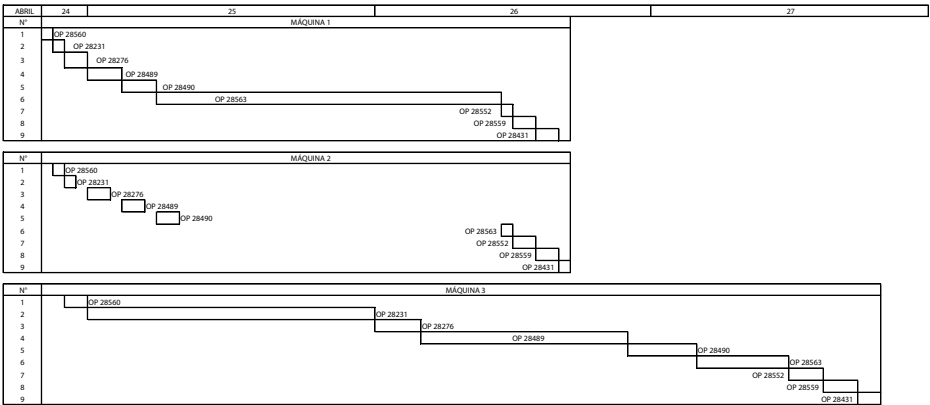


Fuente: Autor

En la Figura 2 se muestra el orden obtenido del procesamiento de las órdenes de producción con la aplicación del método de Johnson. El tiempo de procesamiento total de los trabajos sin aplicación del método de Johnson fue

de 3040 minutos o 2 días con 2 horas y 40 minutos. El tiempo de procesamiento luego de la aplicación del algoritmo de Johnson fue de 2180 minutos ó 1 día con 12 horas y 20 minutos.

Figura 2. Programación con aplicación del Algoritmo de Johnson



Fuente: Autor

La Tabla 6 presenta la comparación de las fechas de culminación de los órdenes de producción con la aplicación del método y las fechas solicitadas por los clientes.

Tabla 6. Fechas de conclusión de las órdenes de producción vs fecha de entrega pactada con los clientes

OP	Nombre del producto	Fecha de conclusión	Fecha de entrega
28560	Hojas membretadas	25-abr	26-abr
28231	Cuaderno anillado	25-abr	1-may
28276	Tarjetas de presentación de 38 personas	25-abr	28-abr
28489	Carpetas	25-abr	30-abr
28490	Hojas 4 diseños	26-abr	30-abr
28563	Catalogo 120 carillas	26-abr	26-abr
28552	Sobres membretados	26-abr	28-abr
28559	Tarjetas de presentación	26-abr	28-abr
28431	Nota de crédito 50x30 cm	26-abr	28-abr

Fuente: Autor

4. DISCUSIÓN

De acuerdo al caso estudiado y comparando los resultados obtenidos en la aplicación del método de Johnson se debe conocer el tiempo que toma cada proceso de trabajo en cada máquina. Además, cuando se aplique el método no se debe modificar las prioridades obtenidas. Se debe tomar en consideración que el orden obtenido permite priorizar para poder optimizar los tiempos de procesamiento de las órdenes de producción.

Las fechas solicitadas por los clientes han sido cumplidas superando las expectativas y permitiendo contar con un tiempo prudente para amortiguar cualquier eventualidad.

En el caso que se necesite aplicar a más de tres máquinas se puede aplicar el método de forma cíclica. Los gerentes de operaciones de este tipo de empresas se guían por las urgencias de los clientes y no por las planificaciones realizadas.

5. CONCLUSIONES

Se concluye que con aplicación del algoritmo de Johnson se obtuvo un ahorro de tiempo correspondiente a 860 minutos. El ahorro de tiempo en relación al método sin aplicación representa el 28.29%. Con la planificación aplican-

do Johnson las fechas de entregas no se afectan. Se superan las expectativas del cliente con la entrega puntual o anticipada de los productos ordenados. La empresa obtiene el beneficio de aumentar la disponibilidad de las máquinas.

REFERENCIAS

- [1] M. Herrera, "Programación de la producción: una perspectiva de productividad y competitividad," *Rev. Virtual Pro*, vol. 42, no. 11, 2011.
- [2] J. Vilaseca i Requena and J. Torrent i Sellens, "TIC, conocimiento y crecimiento económico, un análisis empírico, agregado e internacional, sobre las fuentes de la productividad," *Econ. Ind.*, no. 360, pp. 41–60, 2006.
- [3] J. Mula, R. Poler, and J. P. García, "Evaluation of Production Planning and Control Systems," *Inf. tecnológica*, vol. 17, no. 1, pp. 19–34, 2006.
- [4] Y. Rodríguez Sabina, "Alternativa de programación de productos elaborados a partir de residuos sólidos en la Empresa Gráfica de Villa Clara 'Enrique Núñez Rodríguez.'" Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2014.
- [5] E. E. Adam and R. J. Ebert, *Administración de la producción y las operaciones: conceptos, modelos y funcionamiento*. Pearson educacion, 1991.
- [6] R. G. Schroeder and R. D. L. P. Olaeta, *Administración de operaciones*, vol. 17. McGraw-Hill México DF, 1992.
- [7] G. Calleja and R. Pastor, "Programación de la producción en máquinas en paralelo con lotes de transferencia: un caso de estudio," in *4th International Conference On Industrial Engineering and Industrial Management*, 2010, pp. 1757–1764.

- [8] Barry Render y Jay Heizer, *Administración de Operaciones*, Novena. 2014.
- [9] R. C. y R. Jacobs, *administración de operaciones-producción y cadena de suministro*, Decimoterc. 2014.
- [10] M. Pinedo, C. Zacharias, and N. Zhu, "Scheduling in the service industries: An overview," *J. Syst. Sci. Syst. Eng.*, vol. 24, no. 1, pp. 1–48, 2015.
- [11] Andrés Romano, C. (2012). Secuenciación en taller de flujo de tres máquinas. Retrieved from <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/16202>.

Modeling and controlling pH in the neutralization process of wastewater

Modelado y control de Ph del proceso de neutralización de aguas residuales

M. Miranda¹

Abstract: *In this paper we propose a mathematical model of wastewater treatment by neutralization. This model has been developed based on knowledge about the design of reactors, agitators, chemical neutralization of acid water, and experimentation with equipment such as peristaltic pumps, pH_meter to obtain the equations that characterize its behavior. Then all the equations obtained are transformed to the complex plane "S" for a simpler handling of them. This model is able to predict the behavior of the neutralization of the acid waters in the face of the dosage of the sodium hydroxide in the reactor. Using the program Matlab-Simulink to find the pid driver and finally the pid driver's going to control the neutralization. This work leaves a precedent of what can be implemented in the Ecuadorian industries to give a better purification to the waste water, since at present there are not implemented neutralization plants in 80% the city of Guayaquil.*

Keywords: *residual acid waters, PID control, dosage, mathematical model, neutralization.*

Resumen: En este trabajo se propone un modelo matemático del tratamiento de aguas residuales por neutralización. Este modelo ha sido desarrollado en base a conocimientos sobre el diseño de reactores, agitadores, neutralización química del agua ácida, además se ha realizado experimentación con las bombas peristálticas y el pH-metro para obtener las ecuaciones que caracterizan su comportamiento. Luego todas las ecuaciones obtenidas han sido transformadas al plano complejo "S" para un manejo más sencillo de las mismas. Este modelo es capaz de predecir el comportamiento de la neutralización de las aguas ácidas ante la dosificación de la sustancia Hidróxido de sodio en el reactor. Utilizando el programa Matlab-Simulink se ha podido encontrar el controlador PID que va a controlar la neutralización. Este trabajo aporta un precedente de lo que se puede implementar en las industrias ecuatorianas para darle una mejor depuración a las aguas residuales, ya que en la actualidad no se encuentran implementadas plantas de neutralización en un 80% dentro de la ciudad de Guayaquil.

Palabras clave: aguas ácidas residuales, control PID, dosificación, modelo matemático, neutralización.

1 Mónica Miranda Ramos, Magíster en Automatización y Control Industrial, Ingeniera en Electricidad con especialización en Electrónica y Automatización Industrial, Docente de la Carrera de Electrónica y Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, mmiranda@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

La industria y su producción crecen rápidamente tanto en países desarrollados como sub-desarrollados [1], contaminando el eco sistema con sustancias tóxicas, las mismas que se buscan disuadir y eliminar bajo diferentes mecanismos de depuración [2].

En Ecuador, de los 133 municipios que tratan el agua residual, 53 lo realizan de forma parcial y 82 no realizan ningún tipo de tratamiento [3]. El 59,26% de los gobiernos autónomos descentralizados Municipales (GAD) disponen el agua residual no tratada en los ríos, el 25,19% en quebradas y el restante 15,56% se disponen en otros sitios, por lo que resultan imprescindibles iniciativas que provean este tipo de tratamiento a las descargas de las aguas residuales industriales [3].

En el proceso de depuración del agua existen varias etapas para el tratamiento de las infecciones. Una de ellas es la denominada “tratamiento terciario” [4], es decir, aguas que ya han pasado por tratamientos secundarios que han logrado extraer la mayoría de la carga orgánica y metales, por lo que se vuelve necesario aplicar el tratamiento terciario para la completa erradicación de estos agentes que, aunque en menor proporción, continúan siendo contaminantes y perjudiciales para la vida humana. Se han documentado algunas formas de realizar el tratamiento terciario. Entre ellas se encuentran las resinas de intercambio iónico y la osmosis inversa. Sin embargo, el proceso más utilizado es el tratamiento físico- químico [5].

Uno de los retos a resolver en el tratamiento terciario realizado por el procedimiento físico- químico es la neutralización de aguas ácidas residuales. En este sentido, la problemática está en la dosificación de la base (hidróxido de sodio) ya que generalmente no se llega exactamente al punto de equilibrio, es decir, no alcanza el $\text{pH}=7$ sino que se suele exceder este límite alcanzando valores entre ($\text{pH}=7$ y $\text{pH}=9$). Todo esto sucede debido a la dinámica de los reactivos y la definición de pH que es no lineal [6].

En este contexto la creación de nuevos modelos matemáticos y controladores de pH , se convierten en un tema de investigación en la que varios autores proponen nuevas alternativas de modelado y control de pH . Una de ellas es la denominada técnica Fuzzy que intenta crear un controlador en base a la experiencia y practicidad del operario [7]. Desde este punto de vista, el desarrollo de un modelo matemático que caracterice el comportamiento de la planta muy cercano al proceso real es importante, porque a partir de ese modelo se obtendrá el diseño e implementación del controlador que va a dosificar la base para llegar al punto de equilibrio ($\text{pH}=7$) sin excederlo.

El diseño de la planta utiliza instrumentos de precisión tal como el pH metro que lleva un controlador autorregulado por la temperatura [8], así como las bombas peristálticas [9] que poseen señales de control de corriente en mili-amperios. Con ellas se van a trasladar

las sustancias ácidas y básicas hacia el reactor [10]. Todos los tanques son de fibra de vidrio menos el reactor que es de vidrio. Por último, se tiene el agitador, construido utilizando la teoría del diseño de agitadores [11]. De esta forma, la planta está perfectamente equipada para su correcto funcionamiento.

El objetivo de este estudio es desarrollar un modelo matemático aproximado al comportamiento dinámico de una planta piloto, que ha sido diseñado e implementado para esta investigación, poniendo el énfasis en las ecuaciones de diseño que caracterizan el comportamiento en cada fase de la planta.

2. METODOLOGIA

Para el diseño del controlador PID se ha utilizado el software Simulink R2012b de Matlab [12].

El modelo matemático de la planta piloto de neutralización se lo ha obtenido en base al modelo matemático de la concentración en función del pH, el modelo matemático del reactor, el modelo matemático de la bomba peristáltica y el diseño del controlador de la planta.

2.1 Modelo matemático de la concentración en función del pH

Los procesos industriales tienen un comportamiento no lineal [13], y en el caso del comportamiento del pH en un reactor es aún mayor la no linealidad [14]. Por esta razón se resuelve linealizar la ecuación de concentración en función del pH que está establecido en la siguiente ecuación [15]:

$$y = 10^{-pH} - 10^{pH-14} \quad (1)$$

Se procede a la ecuación (1) a linealizarla por medio de la herramienta matemática denominada serie de Taylor [16].

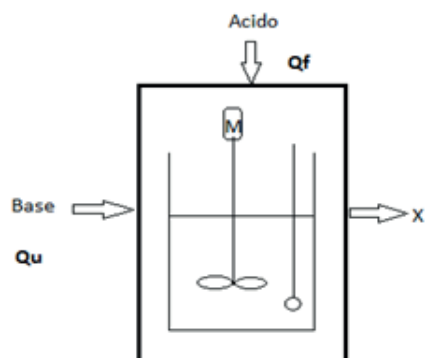
2.2 Modelo matemático del reactor

Como se observa en la Figura 1, al reactor llegan dos sustancias: el ácido y la base [17], mediante la siguiente ecuación se puede expresar la mezcla de estos dos líquidos:

$$V_r \left(\frac{dx_k}{dt} \right) = Q_f \cdot X_{kf} + Q_u \cdot X_{ku} - (Q_f + Q_u) \cdot X_k \quad (2)$$

Su cálculo ha sido obtenido a base del equilibrio de electro neutralidad y se evalúa el punto de operación $y(0)=0$, considerando que el caudal del ácido es mayor al caudal de la base se desestima el caudal básico con el objetivo de simplificar el modelo, posteriormente se lleva la ecuación al plano S para poder ser ingresado en Simulink.

Figura 1. Sustancias que llegan al reactor



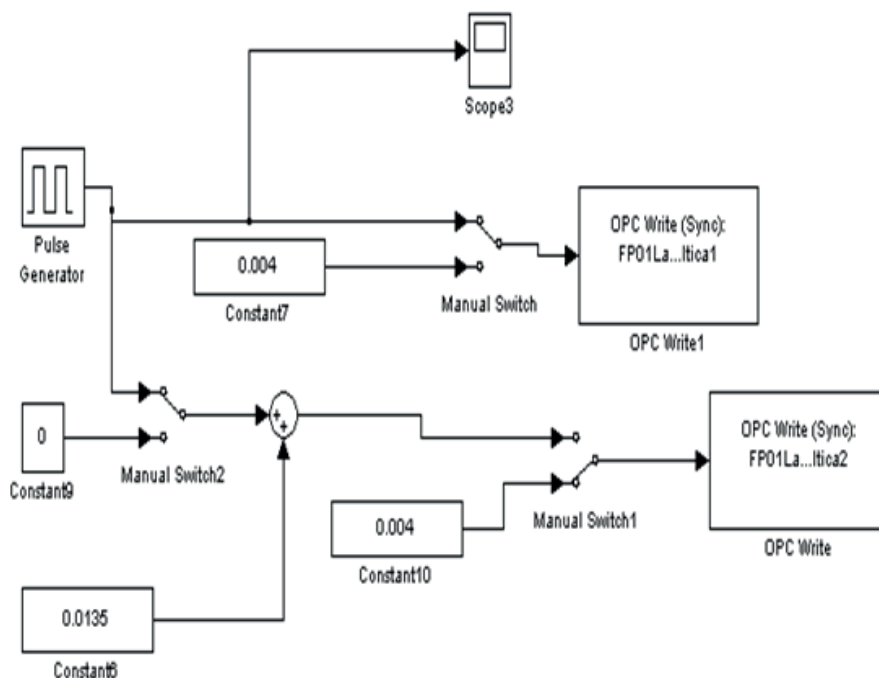
2.3 Modelo matemático de la bomba peristáltica

Se busca determinar la velocidad de respuesta de la bomba peristáltica de

Hidróxido de Sodio cuando recibe la señal de entrada de corriente. Para observar el comportamiento de la bomba se procedió a conectar un multímetro en serie con la señal de corriente y se encontró que tiene un retardo en la respuesta de 4,14 segundos.

Para enviar las señales de corriente a la bomba, se creó en Simulink un programa que se muestra en la Figura 2, en este caso se trabaja con el 20% del total de flujo de la bomba peristáltica para posteriormente elevar hasta un 25% en el flujo total repitiendo la señal alterna durante un tiempo.

Figura 2. Programa en Simulink



En relación a la obtención del modelo matemático del pHmetro, la respuesta de medición es muy rápida comparada con la respuesta que tiene el reactor que es de 73.52 segundos, entonces se la puede definir como inmediata la medición del pHmetro por lo que se la define como $G(s)=1$.

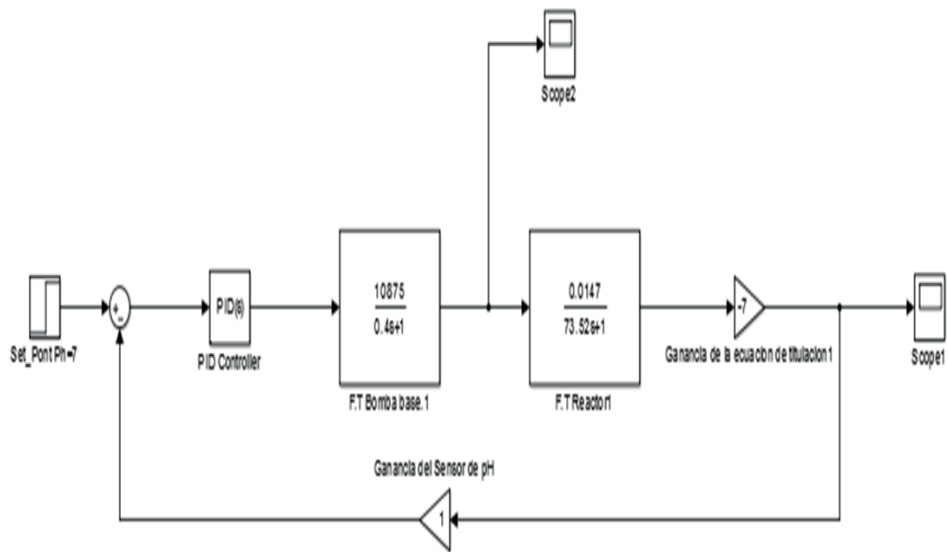
2.4 Diseño del controlador de la planta

Finalmente, el diseño del controlador de la planta está basado en un

sistema de lazo cerrado con un PID que tiene los siguientes parámetros $P=-0.0014$, $I=-3.475$, $D=0.013$, estos han sido calculados mediante la herramienta de autotuning de simulink[18]. Estos valores aseguran que la planta va a trabajar en el punto de equilibrio $pH=7$.

En la Figura 3 se muestra el diagrama en lazo cerrado realizado en Simulink.

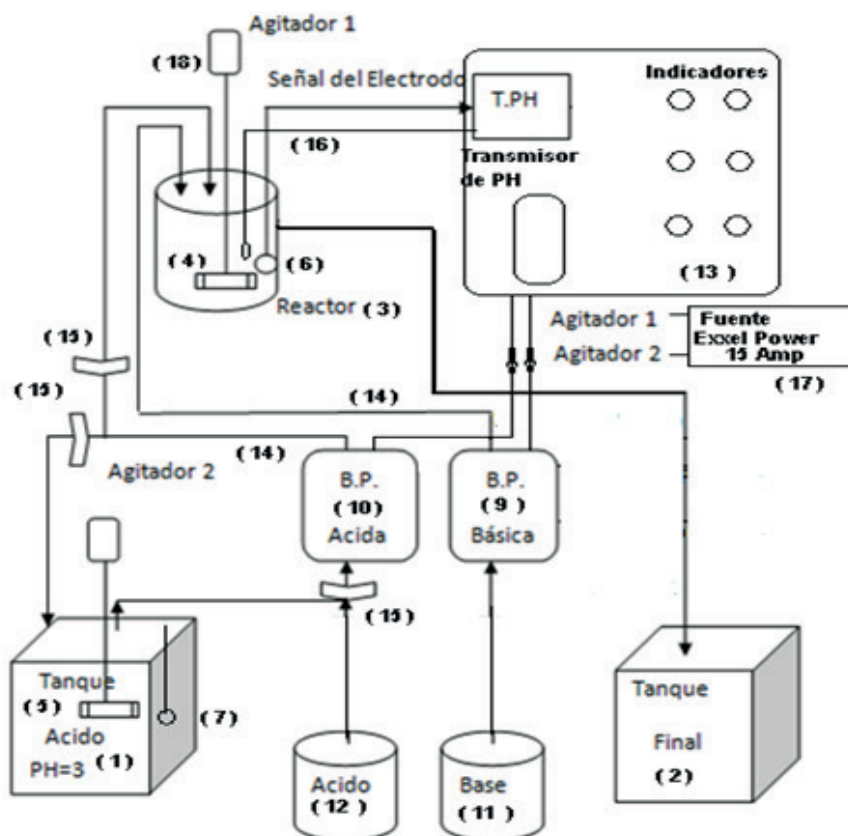
Figura 3. Diagrama en lazo cerrado en Simulink



3. RESULTADOS

La Figura 4 muestra la estructura de la planta.

Figura 4. Esquema de la planta



Tras considerar como condición inicial el pH=7, se obtiene la ecuación linealizada siguiente:

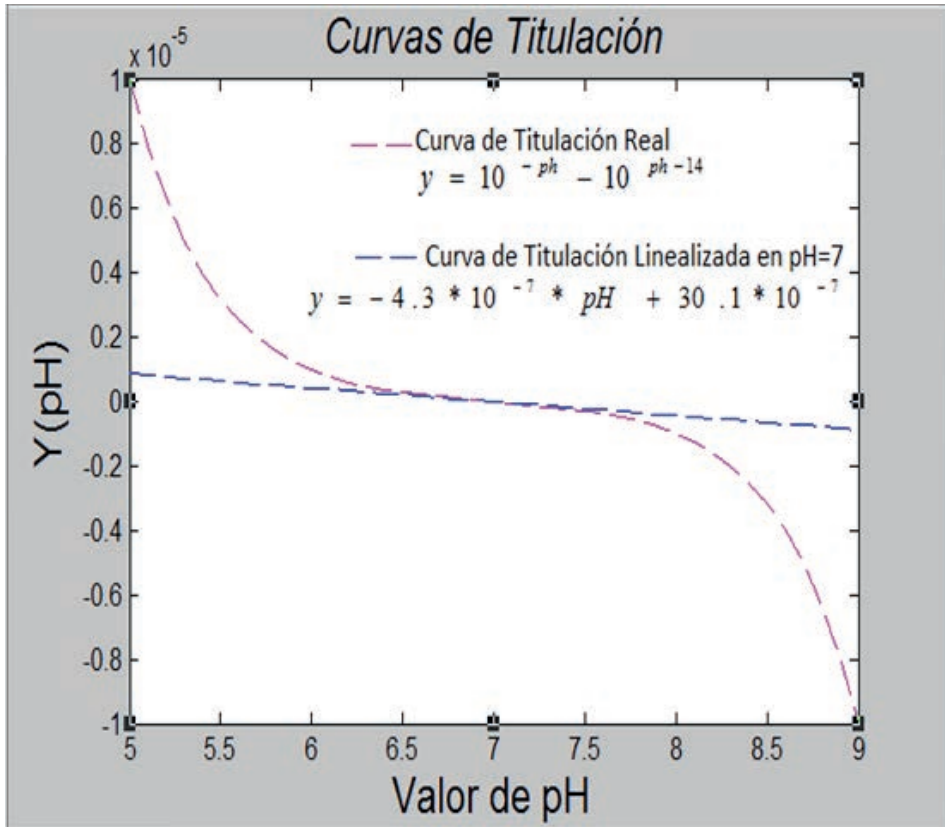
$$y = -4,3 \cdot 10^{-7} \cdot pH + 30,1 \cdot 10^{-7} \quad (3)$$

En la Figura 5 se presenta la ecuación (3) evaluando datos de pH entre 5

y 9 (curva azul) y la curva real de pH (curva rosada).

Para encontrar la función de transferencia del reactor se lleva la ecuación (2) al plano "s" mediante la transformación de Laplace y se obtiene (4).

Figura 5. Curva de titulación real e ideal



$$G(s) = \frac{X(s)}{Q_u(s)} = \frac{\frac{1}{Q_f}}{s\left(\frac{V_r}{Q_f}\right) + 1} \quad (4)$$

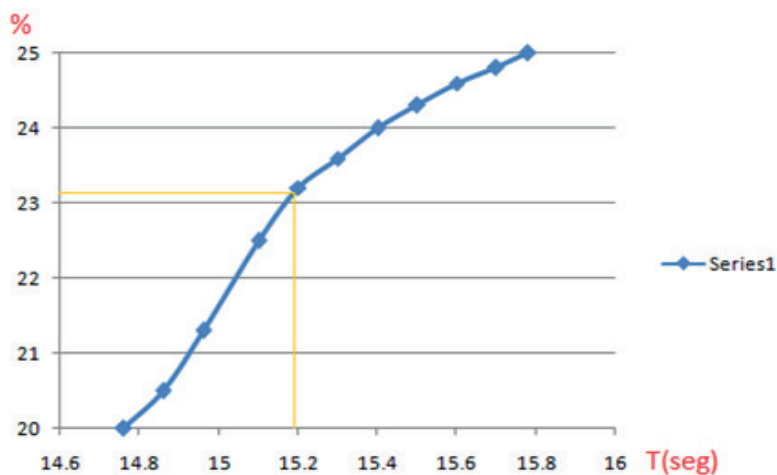
El modelo matemático de la bomba se la obtiene en base a la experimentación, en la Figura 6 se muestran los valores de subida de la onda que oscila desde el 20% al 25%, observándose que

se trata de una línea exponencial representada con la siguiente ecuación:

$$\frac{Q(s)}{I(s)} = \frac{K}{1+s\tau} \rightarrow L^{-1} A.e \quad (5)$$

Se busca evaluar estas dos constantes K y τ . Para el caso de la constante de tiempo τ , la determinamos al 63% de la señal de subida, a partir de la Figura 6.

Figura 6. Ascenso de la Onda



En relación a la ecuación de la bomba peristáltica, tras calcular todos los parámetros se obtiene la ecuación (6)..

$$10875 \cdot \left(1 - e^{-t/0.4}\right) \quad (6)$$

Para obtener la función matemática del reactor se deben considerar los siguientes parámetros: $V_r = 5$ litros y $V_f = 68$ ml/min.

Finalmente se tiene que la función de transferencia del reactor:

$$G(s) = \frac{K_r}{1+s\tau} \quad (7)$$

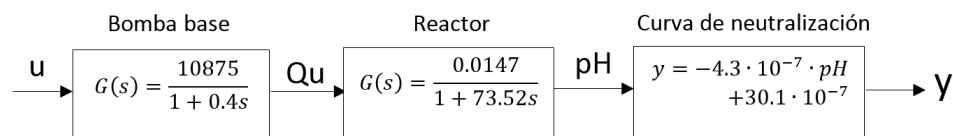
donde: $K_r = 0,0147$ mi y $\tau = 73,529$ min

Para obtener la ecuación de la bomba peristáltica en Laplace, se lleva la ecuación (6) al plano S y se tiene:

$$F(s) = \frac{10875}{0,4 \cdot s + 1} \quad (8)$$

En la Figura 7 se muestra el modelo matemático de la planta piloto con todas las funciones de transferencias integradas en el sistema.

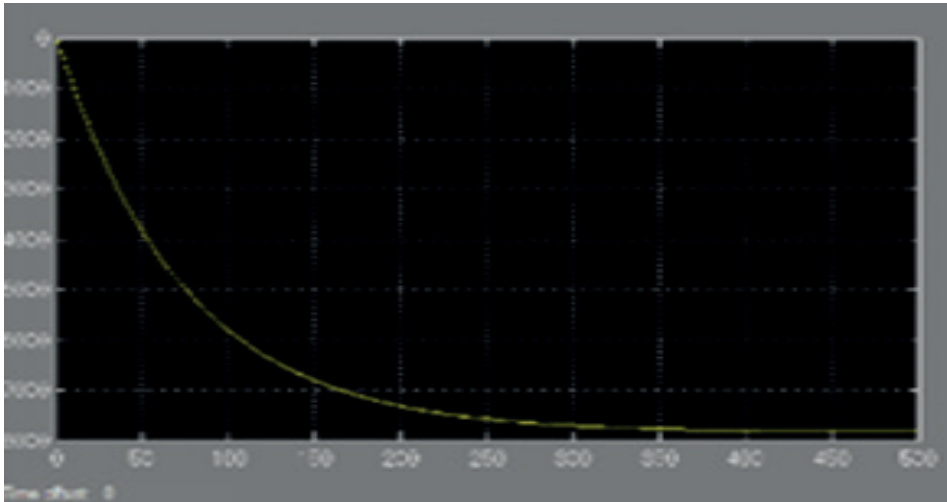
Figura 7. Modelo matemático



Fuente: Autor.

En la Figura 8 se muestra la respuesta del sistema en lazo abierto que ha sido construido en Simulink.

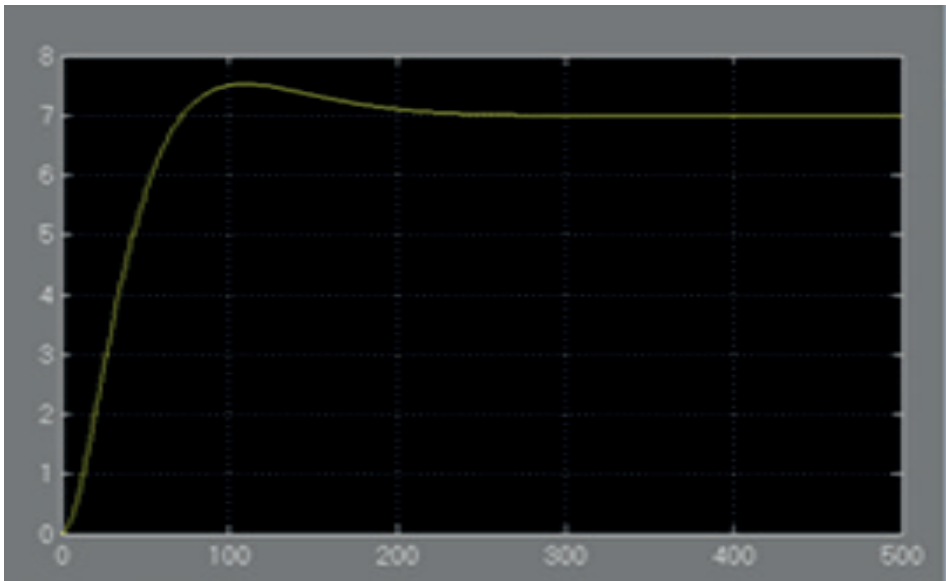
Figura 8. Respuesta del sistema en lazo abierto



La respuesta del sistema en lazo cerrado se puede observar en la Fig. 9. El controlador ha logrado el objetivo

de llevar el agua ácida que estaba en el sistema, a una neutralización con un $\text{pH}=7$.

Figura 9. Respuesta en lazo cerrado



4. DISCUSIÓN

En la metodología para realizar tanto el modelado matemático así como el control de plantas de tratamiento de aguas terciarias [19], existen varias formas de realizarlo, por ejemplo, en el modelado la herramienta más utilizada es la denominada “caja negra” [20], se basa en inyectar señales de entrada (corriente o voltaje) a los equipos de la planta y observar su comportamiento para inferir su ecuación matemática que lo modela. Esto ocurre en base al tratamiento estadístico y matemático de los datos obtenidos en la prueba de la planta. Así también está el método analítico-físico llamado de “caja blanca” [21] donde se conocen todos los parámetros y variables que intervienen en el sistema. En el presente trabajo se ha encontrado el modelo matemático de la planta fusionando el método experimental “caja negra” con el método analítico físico-químico “caja blanca”. Su desarrollo se basa en el conocimiento de la dinámica del sistema (a diferencia de la caja negra), para poder plantear las ecuaciones que lo gobiernan. Así, se ha obtenido el modelo matemático de la concentración en función del pH y también bajo este método se obtuvo el modelo matemático-físico del reactor.

La ventaja de trabajar con estas ecuaciones es que, a pesar de tener intrínsecamente asociadas a su naturaleza química, la no linealidad del pH, es posible lograr linealizar ese modelo alrededor del punto de operación de la planta, que en este caso es en el $\text{pH}=7$,

debido a que se busca la neutralización del agua terciaria en ese punto, usando la herramienta matemática de linealización denominada Taylor, se logra que el modelo matemático sea capaz de responder no solo en el punto requerido de $\text{pH}=7$ sino también entre (6,5 y 7,5), y si se necesitara en algún momento cambiar el punto de ajuste, significaría que podemos seguir utilizando sin inconvenientes el mismo modelo matemático obtenido por caja blanca, pero el modelo obtenido por “caja negra”, no podría ajustarse al nuevo valor de equilibrio sino que debería de repetirse la operación de las pruebas para volver a inferir la ecuación del modelo en el punto de equilibrio deseado.

Otro pilar fundamental es el desarrollo del controlador, quien permite crear un algoritmo de control sin dificultad utilizando la herramienta de Auto-tuning de Simulink R2012. Sin embargo, los modelos no lineales, obtienen el control, programando controladores no lineales, que son más difíciles de construir. Por esta razón es conveniente trabajar con modelos de caja blanca, ya que son un poco más versátiles y confiables.

Además, se evidencia que por medio del método por “caja negra” se logra obtener el modelo matemático de la bomba peristáltica, la misma que resultó tener un tiempo de retardo en la respuesta de 4.14 segundos cada vez que recibe la señal de control de la misma por medio de Simulink. Con respecto

al modelo matemático del pHmetro, se obtiene que $G(s)=1$, en donde la respuesta de medición es inmediata.

Con respecto al diseño del controlador, existen muchas formas de realizarlo, por ejemplo, el control Fuzzy [7], herramienta desarrollada en base a reglas establecidas gracias a la experiencia del operador, por lo que para su perfecto funcionamiento es necesario tomar en consideración la mayor cantidad de eventos que pudieran suceder en la planta, y de esa forma esté listo el controlador Fuzzy para responder ante cambios inusuales. Por otro lado, en el controlador que se ha desarrollado en este trabajo se pueden ingresar las perturbaciones en el sistema sin tenerlas registradas con anterioridad y el control PID podrá auto-regularse y atenuar las perturbaciones de manera que vuelva a llevar al sistema al punto de equilibrio requerido.

También se ha llegado a experimentar el control predictivo no lineal del pH [22]. Esta técnica resulta atractiva para quienes dominan el control automático, sin embargo, quien la implemente deberá tener un amplio conocimiento en programación en lenguaje "C" ó en Matlab, además de algoritmos de optimización que son usados para encontrar la ventana de predicción de ajustes de los parámetros del controlador predic-

tivo en contraposición al control PID. En este sentido, resulta muy amigable al implementarse en esta planta que, a pesar de ser no lineal, responde muy bien en el punto de equilibrio y cumple el objetivo de la neutralización: alcanzar el $pH=7$.

Se podrían seguir nombrando muchos algoritmos de control moderno, como el control óptimo, robusto, o neuronal. Cada uno de ellos posee sus fortalezas, como por ejemplo en el control robusto [23] siempre se considera con antelación las perturbaciones antes de que aparezcan, gracias al observador que se incorpora en su estructura del control robusto, en cambio ésta es una debilidad del controlador PID, ya que no puede anticiparse a las perturbaciones sino que debe de sufrirlas y al detectarlas responder con una auto-regulación rápida. En este contexto, hay un momento en que el sistema pierde su punto de operación pero es restablecido muy rápidamente debido a que las 3 constantes que tiene el controlador PID trabajan al unísono para ajustarse al cambio y volver al punto de operación. El controlador PID a pesar de ser sencillo en su implementación es muy dinámico y efectivo en su operación [24], por lo que es el más usado en las industrias y se encuentran en la mayoría de sus lazos de control.

5. CONCLUSIONES

Se demostró que encontrar las ecuaciones matemáticas de la planta piloto es una tarea ardua, ya que se manejan

ecuaciones no lineales, como es el caso de la curva de neutralización, la misma que se procedió a linealizarla para tener

una ecuación que modele la planta en los alrededores del punto de equilibrio.

Teniendo el modelado completo se pudo observar que el comportamiento de la planta en lazo abierto es completamente no lineal por lo que se hace necesario la creación del controlador, el cual logra ajustarlo con un PID sin

problemas con una respuesta de estabilización de 200 seg.

Este prototipo de planta podría ser usado por las industrias que quieran ser coherentes y conscientes con el medio ambiente y cumplir con los estándares de purificación de las aguas industriales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece las contribuciones del Ing. César Martín, al Ing. Carlos Mo-

rante y al Ing. Del Pozo a esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Onudi, "Rol de la Tecnología y la innovación en el desarrollo industrial inclusive y sostenible", Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo Industrial, Viena, Informe ONUDI: 447, 2016.
- [2] R. Vilanova, I. Santín, and C. Pedret, "Control y Operación de estaciones depuradoras de aguas residuales: Modelado y Simulación", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 14, Mayo, 2017, pp. 217-233.
- [3] Estadística de Información Ambiental económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2015, Estándar INEC primera, 2015.
- [4] J. A. Romero Rojas, *Tratamiento de aguas residuales*, Texto, Escuela Colombiana de Ingeniería, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia, 2013.
- [5] Cyclus, Tratamiento terciario, fecha de acceso: 25/02/2017. Available: <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-terciario>.
- [6] W. F. Amaya, O. A. Cañón, and O. F. Avilés, "Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales", *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 14, Julio, 2004, pp. 86-95.
- [7] C. A. Rocha y J. R. Escorcía, "Neutralización de los niveles de pH por medio de lógica difusa". *Innovation and development for the Americas*, Arequipa-Peru, 2010, pp. 1-10.
- [8] *A guide to pH Measurement*, Estándar Mettler Toledo CH-8902, 2016.
- [9] *Bombas peristálticas industriales*, Estándar Verdeflex rev_02, 2014.
- [10] J. Santamaría, *Ingeniería de los reactores*, 1era, España: Síntesis, 1999, pp. 347.
- [11] J. L. Bea, *Reactores Químicos*, 1era, España: Síntesis, 2016, pp. 270.
- [12] Mathworks, *Welcome Simulink R2012b*, Fecha de Acceso: 3/11/2017, available: <https://blogs.mathworks.com/simulink/2012/09/12/welcome-simulink-r2012b/>
- [13] C. Vivas Venegas, "Control Óptimo y Robusto de sistemas no lineales, aplicaciones a sistemas electromecánicos", Tesis Doctoral, Ingeniería Industrial, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2004.
- [14] R. Chang and W. College, *Química de Chang*, 5ta, Colombia: Mc.Graw-Hill, 2002, pp. 605.
- [15] Khan Academy, *Water autoionization and Kw*, Fecha de Acceso: 11/03/2017, available: <https://www.khanacademy.org>
- [16] Smith and Corripio, *Control de procesos automático*, Primera edición, México: Limusal, 1991, pp. 711.

- [17] A. Martin Sanz, *Equilibrio químico, ácidos-bases y equilibrios de solubilidad*, Primera, España: García Maroto, 2015, pp. 85.
- [18] Mathworks, *Model Based PID Controller Tuning R2012b*, fecha de Acceso: 3/11/2017.
- [19] Centa, *Manual de depuración de aguas residuales*, 1era, España: ARPIrelieve, 2008, pp. 264.
- [20] *Caja negra*, Estándar Universidad Santo Tomas primera, 2016.
- [21] *Caja blanca*, Estándar Daniel Rodríguez & Teodoro Álamo primera, 2015.
- [22] Udep, Identificación y control predictivo no lineal de pH-resultados experimentales, 15/03/2017, available: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_197_184_140_1854.pdf <<https://www.mathworks.com/help/slcontrol/automatic-pid-tuning.html>.
- [23] *Detección de fallas en sistemas de control automático*, Estándar Alejandra Suárez primera, 2002.
- [24] *Control PID*, Estándar Virginia Mazzone Primera, 2002.
- [25] B. Maheu, and G. Gouesbet, "Four-flux models to solve the scattering transfer equation: special cases", *Appl. Opt.* 25, 1122-1128, 1986.
- [26] P. Kubelka, "New contributions to the optics of intensely light-scattering materials". Part I, *J. Opt. Soc. Am.* 38, 448-457, 1948.
- [27] J.L. Saunderson, Calculation of the color of pigmented plastics, *J. Opt. Soc. Am.* 32, 727-736, 1942.
- [28] R. Levinson, P. Berdahl, H. Akbari, "Solar spectral optical properties of pigments- Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 89, 319-349, 2005.
- [29] P. Pfrommer, K.J. Lomas, C. Seale, and C. Kupke, The radiation transfer through coated and tinted glazing, *Sol. Energy* 54, 287-299, 1995.
- [30] S.A. Kovalenko, "Descartes-Snell law of refraction with absorption", *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, vol. 4, no. 3. pp. 214-218, 2001.
- [31] G. Kortüm, *Reflectance Spectroscopy: Principles, Methods, Applications*, Springer, New York, USA, 1969.
- [32] R. Swanepoel, "Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon", *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 16(12), 1983.

The personal interaction and its effect on the service quality of courier companies

La interacción personal y su efecto en la calidad del servicio de las empresas courier

E. Santos¹, F. Villacrés², R. Álvarez³

Abstract: *This research seeks to solve the question about the perception of the aspects of response, access, reliability and its influence on the service quality by courier clients or also called Courier of Guayaquil city; for this reason, it was determined as the general objective the correlation between the two variables. Using a 15 question survey as a tool, and using the statistical application to perform an explanatory-correlational analysis, the results were processed, giving the Kendall coefficients Tau b in the variables and dimensions analyzed in the three Courier companies. Servientrega SA, Laarcourier and DHL have the highest market share, given the volume of sales in Guayaquil city. This article presents important attributions that describe a correlation between the client's personal perception of the aspects described above and their influence on service quality, resulting in levels of bilateral significance (p values) of less than 5%.*

Keywords: *service quality, Courier services, response, access, reliability, mobilized shipments, perception, perceived quality.*

Resumen: Con la presente investigación se busca resolver la interrogante sobre la percepción de los aspectos de respuesta, acceso, confiabilidad y su influencia en la calidad del servicio por parte de los clientes de mensajería o también llamados Courier de la ciudad de Guayaquil; por lo que se planteó como objetivo general, la determinación de la correlación entre ambas variables. Utilizando la herramienta de la encuesta, la misma que consta de 15 preguntas y mediante la ayuda de la aplicación estadística que permite realizar un análisis explicativo-correlacional, se procesaron los resultados, dándonos los coeficientes Tau b de Kendall en las variables y dimensiones analizadas en las 3 empresas Courier, siendo las que cuentan con mayor participación en el mercado, dado por su volumen de ventas en la ciudad de Guayaquil (Ecuador), de las cuales resaltan: Servientrega S.A, Laarcourier y DHL. Mostrando importantes atribuciones que describen una correlación entre la percepción personal que tiene el cliente con los aspectos descritos ut supra y su influencia en la calidad del servicio, dando como resultado niveles de significancia bilateral (valores p) menores al 5%.

Palabras clave: calidad del servicio, servicios Courier, respuesta, acceso, confiabilidad, envíos movilizados, percepción, calidad percibida.

1 Edgar Daniel Santos, estudiante de la carrera Administración de Empresas, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador, dsantos@est.ups.edu.ec

2 Fabián Villacrés Beltrán, MSc. Docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador, fvillacres@ups.edu.ec

3 Raúl Álvarez Gualé, MSc. Docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador, ralvarez@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Del total de envíos movilizados en 2014, el 47% corresponde a personas naturales, estimando que unos 380.000 usuarios acceden a servicios de mensajería rápida, generando alrededor de 8.000 plazas de trabajo en todo el Ecuador [1], existiendo un nicho de mercado muy competitivo en el que registran 140 empresas activas dedicadas a esta actividad [2].

En el Ecuador, el sector de distribución postal y de soluciones logísticas, actividad que es realizada por las empresas Courier nacionales, generó una utilidad neta en el año 2008 de \$10'510.362,43; [2] el mismo que se ha visto afectado en los últimos años por las decisiones tomadas por el actual gobierno [3], una de las principales causas está dada por los regímenes impositivos [4], las exigencias y/o regulaciones por parte de los entes gubernamentales de control [5].

Dichos controles han ocasionado que los precios por la utilización de estos servicios se vean incrementados, pero el alza de los costos no justifica la evolución de los índices de calidad [6]; los clientes que realizan envíos, tratan de que el precio que cancelan por el servicio [7] se refleje en la calidad ofrecida por la empresa. El rol que brinda la “percepción” de los clientes es fundamental para la sobrevivencia en el mercado [8], debido a la creciente competencia y el papel del cliente, quien se ha convertido en juez y evaluador [9], exigiendo altos niveles y estándares de calidad, no solo de forma tangible sino

por el valor agregado ganado, definiéndola como “Calidad Percibida” [10].

Según estudios previamente realizados [11], algunos de los factores más influyentes en la toma de decisiones que ejecuta el cliente al momento de la contratación son: es el cumplimiento del servicio prometido, la disminución de errores durante el servicio y, la efectividad y precisión de los tiempos de entrega; elementos que resultan de mucha importancia en la percepción por parte de los clientes.

En los estudios de investigaciones previas, destacan que los aspectos de: “la respuesta”, “acceso” y “la confiabilidad”, tienen relación directa con la percepción del cliente sobre la calidad del servicio. La impresión más vívida del cliente, ocurre en el encuentro del servicio, al momento de la verdad; es decir, cuando los clientes interactúan con la empresa [12], por lo que se hace referencia a la atención que se les presta a los mismos por parte de la Compañía Courier, desde que se efectúa el envío, hasta que es entregado al destinatario.

Los clientes enfatizan y ponderan a los “niveles de respuesta” [5] como un “factor muy influyente” en la calidad del servicio, se considera: la rapidez en la entrega de los envíos, la entrega de los pedidos requeridos, la eficacia para resolver inconvenientes y la facilidad para ayudar al cliente [13].

Dicho factores son primordiales, debido a que la mayoría de envíos son

documentos, ventas o suministros que requieren ser entregados de manera eficaz por el grado de importancia que representan para los destinatarios [14].

El acceso es otro aspecto priorizado por los clientes, puesto que la dificultad para acceder a los establecimientos, la falta de cobertura y la inexistencia de diversidad de horarios para la atención del cliente, promueven a que el tiempo de entrega de los envíos aumente y se generen costos imprevistos [12]. El cliente percibe la confiabilidad al momento en que sus productos son entregados en buen estado y cuando se mantiene la mayor confidencialidad, al no

revelarse el contenido de los paquetes a terceros [15]. Para establecer la correlación de las variables mencionadas, con la calidad del servicio, se utilizarán herramientas estadísticas que nos permitirán evaluar de manera general los factores que afectan la calidad percibida por los clientes.

En este trabajo se muestran los principales resultados de una investigación orientada al mejoramiento de la calidad de los servicios Courier, se aplica un procedimiento diseñado a tal efecto, donde se incluyen entre sus principales etapas: la identificación de las variables que afectan a la satisfacción del cliente [15].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo general de la concurrente investigación es determinar si la interacción personal influye en la percepción de la calidad del servicio y la toma de decisiones en la contratación, por parte de los prospectos consumidores de servicios de envíos en la ciudad de Guayaquil. De esta manera se plantean los siguientes objetivos específicos: (i) Determinar si la capacidad de respuesta de las empresas Courier tiene relación directa con la calidad del servicio; (ii) Establecer la influencia relacionada entre la confiabilidad de las empresas Courier con la calidad del servicio en la ciudad de Guayaquil; y (iii) Evidenciar si el acceso a los establecimientos se relaciona con las valoraciones de la calidad del servicio en las empresas Courier. Con base a este contexto, como hipótesis de partida (H_0) se plantea

que la interacción personal, influye en la percepción de la calidad del servicio por las que surgen tres hipótesis específicas: (H_1) La capacidad de respuesta de las empresas Courier tiene relación directa con la calidad del servicio; (H_2) Existe influencia entre la confiabilidad de las empresas Courier con la calidad del servicio; y (H_3) El acceso a los establecimientos se relaciona con las valoraciones de la calidad del servicio en las empresas Courier.

Para cumplir con los objetivos expuestos previamente, se aplicó un análisis de tipo explicativo-correlacional, debido a que se supone un vínculo existente entre las variables de estudio [16], dicho análisis conllevará a determinar la existencia, calculando el grado de relación positiva o negativa que posee la interacción personal, generada a partir

de la calidad del servicio y la percepción que tienen los clientes generadores de envíos al momento de relacionarse con la empresa. Por su parte, el instrumento de recolección de datos aplicó la técnica del cuestionario, donde cada una de las quince preguntas se valoran en una *escala de Likert* [17], del 1 al 5, siendo 1 valorado como “totalmente en desacuerdo” según la percepción del encuestado, mientras que, la valoración 5 se especifica como “totalmente

de acuerdo” [18]. Para la validación del cuestionario y de las preguntas contestadas por los consumidores de servicios Courier, se utilizó el coeficiente estadístico de *Alfa de Cronbach* para el análisis de confiabilidad de dicho instrumento [16]. Todas las preguntas que se formularon fueron realizadas de acuerdo a la sobre posición de las variables: “Componentes de la Calidad del servicio” y “Percepción de la calidad del servicio”, tal como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables, Dimensiones e Indicadores

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES
1. Interacción Personal basada como componente de la calidad del servicio	1.1 Capacidad de respuesta de las empresas Courier ante eventualidades	1.1.1 Eficacia al resolver inconvenientes.
		1.1.2 Prontitud al momento de prestar el servicio.
		1.1.3 Facilidad para ayudar al cliente.
		1.1.4 Medios de búsqueda y consultas de envíos.
		1.5 Ambiente específico para recibir un buen servicio
	1.2 Facilidad de Acceso para el consumidor a los establecimientos y atención al cliente	1.2.1 Diversidad de horarios para la atención del cliente.
		1.2.2 Los precios están en capacidad para el cliente.
		1.2.3 Facilidad para llegar al establecimiento.
		1.2.4 Cobertura requerida para una buena atención del cliente
	1.3 Niveles Confiabilidad de los servicios brindados	1.3.1 Confiabilidad en el servicio a convenir.
		1.3.2 Confidencialidad en la información del cliente
		1.3.3 Seguridad en el servicio de entrega
		1.3.4 Infraestructura brinda seguridad adecuada.
		1.3.5 Satisfacción de las expectativas del cliente.
2. Calidad del servicio por parte de los clientes	2.1 De los clientes Valor percibido del servicio y las expectativas generadas	2.1.1 Consideración de aspectos que afecten directamente al servicio.

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, la población del estudio está conformada por aquellos clientes de los distintos Centros de Soluciones postales de la ciudad de Guayaquil, escogidas de las tres cadenas más importantes según su volumen de ventas, siendo estas: Servientrega S.A. [19], Laarcourier [20] y DHL [21]. En este sentido; hasta Junio del 2017 se contabiliza la existencia de 70 puntos de servicios en la ciudad de Guayaquil.

A estos grupos que figuran como objetivos muestrales, se les aplicará el instrumento de recolección de datos a los consumidores que hayan realizado algún envío en los establecimientos antes mencionados. Existiendo en la ciudad de Guayaquil un universo de 1'252.550 [22] personas económicamente activas como compradores de bienes y servicios, potenciales y actuales clientes que escogen o podrían escoger alguno de estos Centros de recepción y de movilización de envíos. Para determinar el tamaño de la muestra, se referirá a la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 / NPQ}{e^2(N-1) + Z_{\alpha/2}^2 PQ} \quad (1)$$

Denotando que el valor de n , se relaciona con el tamaño de la muestra y siendo aquella que se desea obtener. Teniendo la finalidad de cuantificar la probabilidad y/o proporción de objetos cuya característica de estudio es la variable P , utilizando para esta investigación científica el valor de $P=0.5$, presentándose como el máximo valor de la varianza, siendo aplicada por descono-

cimiento y al no haberse efectuado un estudio preliminar exploratorio.

En este caso de estudio, se utilizará la valoración de una probabilidad que no posee características involucradas, siendo tomada para la misma el valor de $Q = 0.5$

Mediante la explicación de la selección de la muestra, se describe a e como el error aceptado en los resultados encontrados; en la investigación se establece un margen de $\pm 5\%$. α representa la cuantía de significancia de los niveles de confianza, tomando para este estudio de caso un valor del 5% [23], mientras que $z_{\alpha/2} = 1.96$ para el nivel de confianza del 95%.

La ciudad de Guayaquil, es aquella que presenta mayor movimiento comercial y poblacional en todo el Ecuador, existiendo a la fecha 1'252.550 personas económicamente activas. Tomando este valor como la población del estudio, el tamaño de muestra resultante fue de 385 clientes.

Los investigadores plantean todas estas hipótesis propuestas, asumiendo la existencia de la dependencia entre ambas variables y dimensiones mencionadas en la matriz de operacionalización, por lo que se puede decir que la hipótesis nula da lugar a la ausencia de correlación de las mismas. Todas y cada una de las hipótesis serán probadas, establecidas en la siguiente regla: Se acepta la hipótesis nula si el valor p de bilateral significancia sea mayor a el nivel de significancia α , siendo considerada para este estudio un 5%.

Utilizando el software estadístico Statiscal Package for the Social Scien-

ces, reconocido como IBM-SPSS, en donde calcularemos el *valor-p* de manera inmediata. Además, se cuantificará el Coeficiente de Correlación *Tau_b de Kendall*, ya que es necesario utilizar un

coeficiente de correlación que mida la relación existente en variables de carácter ordinal. Dicho coeficiente es pertinente utilizarlo para este tipo de investigaciones valoradas en la escala de Likert [24].

3. RESULTADOS

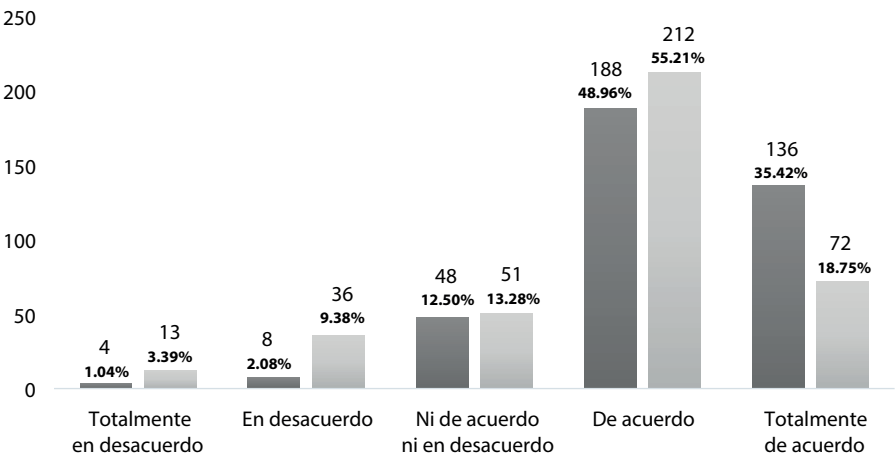
Para brindar una información veraz de las respuestas de los clientes que utilizan los servicios Courier, se debe considerar en primer lugar, realizar un análisis de fiabilidad del instrumento recopilador de información. Se aplicó el coeficiente Alfa Cronbach [25], con la finalidad de cuantificar la fiabilidad del cuestionario. Mediante la herramienta estadística SPSS [26] se generó un análisis de confiabilidad de 15 preguntas planteadas, surgiendo como resultado un coeficiente de 0.951, demostrando la seguridad del instrumento.

El objetivo general de la investigación planteado en primera instancia, indica que se busca determinar si la interacción personal influye en la percepción de la calidad al momento de recibir el servicio por parte de los consumidores de servicios Courier de la ciudad de Guayaquil, partiendo de la hipótesis (H_0) que la interrelación de los aspectos de respuesta, acceso y confiabilidad no influyen en la percepción de la calidad por parte de los clientes de servicios Courier de la ciudad de Guayaquil.

Por tal motivo, es necesario contrastar la siguiente prueba de hipótesis (H_g) La interacción personal, influye en la calidad del servicio por parte de los clientes de servicios Courier y Logísticos. Siendo entonces la hipótesis nula la inexistencia de relación alguna, expresada como: $\rho = 0$, y la hipótesis que se plantea en la investigación la que denota la relación entre la interrelación de los aspectos brindados en el servicio y la percepción de la calidad, evidenciada como $\rho \neq 0$. Simplificando, las pruebas de hipótesis se muestran de la siguiente manera: $H_0: \rho = 0$; $H_g: \rho \neq 0$.

Para comprobar la hipótesis propuesta, se necesita tener un panorama del comportamiento porcentual de la información (datos), al revisar la Figura 1 se muestra el resultado de las encuestas recopiladas, en el que se analiza la interacción personal y la calidad del servicio, y se puede observar que los porcentajes tienden a subir, a excepción del último descriptor.

Figura 1. Interacción Personal y su relación con la calidad del servicio



Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de los resultados es importante revisar la Tabla de correlación de Tau b de Kendall que permitirá observar el comportamiento de los datos, la misma se describe en la Tabla 2. Se necesita tener en cuenta el valor del coeficiente de correlación que es 0.648, con el que se puede especular en una relación media dada entre la interacción personal y la percepción de la calidad del servicio por parte de los clientes que mantienen las empresas de Courier y

Logística. Para la constatación de la hipótesis se necesita optar por la metodología sugerida en la presente investigación. El resultado que se muestra en la Tabla 2, donde la significancia bilateral del valor-p es igual a cero, siendo menor al valor de significancia $\alpha = 0.05$, y ante lo expuesto, se rechaza la hipótesis nula, por lo que se puede decir que la interacción personal, influye en la calidad del servicio por parte de los clientes de servicios Courier y Logísticos.

Tabla 2. Correlación De Tau B de Kendall Hipótesis General

		Calidad del Servicio
Interacción Personal	Coeficiente de correlación	0.648**
	valor-p de la significancia bilateral	0

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia

El objetivo específico establecido en la presente investigación, el cual trata de determinar si la capacidad de respuesta de las empresas Courier tiene relación directa con la calidad del servicio.

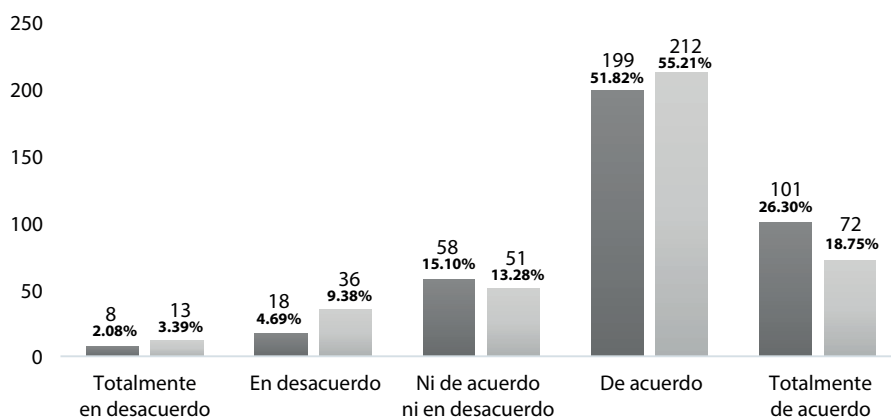
Por tal motivo, es necesario contrastar la siguiente prueba de hipótesis (H_1) La capacidad de respuesta tiene relación directa con la calidad del servicio por parte de los clientes de servicios Courier y Logísticos. Siendo entonces la hipótesis nula la inexistencia de relación alguna, expresada como: $\rho=0$, y la hipótesis que se plantea en la investigación la que denota la relación entre ellas, evidenciada como $\rho \neq 0$. Simplificando, las pruebas de hipótesis se muestran de la siguiente manera: $H_0: \rho = 0$; $H_1: \rho \neq 0$.

Para comprobar la hipótesis propuesta, se necesita tener un panorama del comportamiento porcentual de la información, al revisar la Figura 2 se muestra el resultado de las encuestas

recopiladas, en el que se analiza la capacidad de respuesta percibida por los clientes y su interrelación con la calidad de servicio, donde se puede observar que los porcentajes tienden a subir, a excepción del último.

Se necesita tener en cuenta el valor del coeficiente de correlación que es 0.619, con el que se puede especular en una relación media dada entre Capacidad de Respuesta y la percepción de la calidad del servicio por parte de los clientes. Para la constatación de la hipótesis se necesita optar por la metodología sugerida en la presente investigación. El resultado que se muestra en la Tabla 3, donde la significancia bilateral del valor-p es igual a cero, siendo menor al valor de significancia $\alpha = 0.05$, y ante lo expuesto, se rechaza la hipótesis nula, por lo que se puede decir que la capacidad de respuesta influye en la apreciación de calidad del servicio por parte de los consumidores.

Figura 2. Capacidad de respuesta y su relación con la calidad del servicio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Correlación de Tau B de Kendall Hipótesis Específica 1

		Calidad del Servicio
Capacidad de respuesta	Coeficiente de correlación	0.619**
	valor-p de la significancia bilateral	0

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

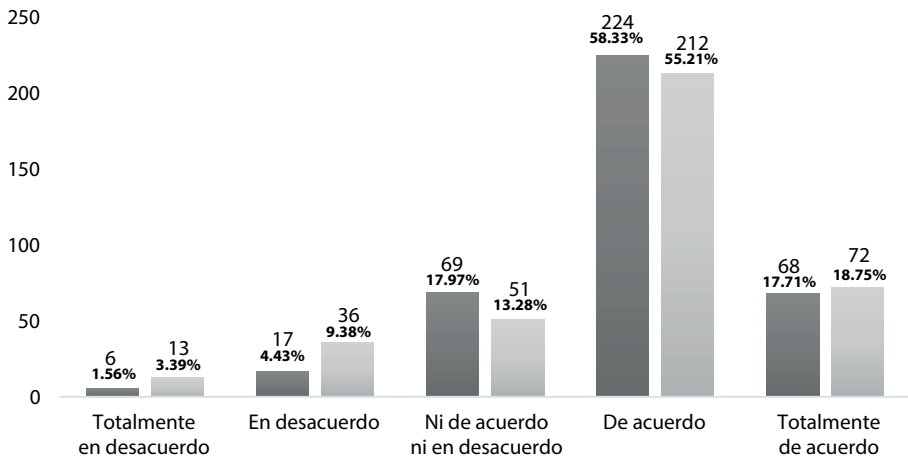
Fuente: Elaboración propia

Otros de los objetivos específicos de esta investigación es evidenciar si el acceso a los establecimientos de las empresas Courier tiene relación directa con la calidad del servicio brindado por las empresas Logísticas en la ciudad de Guayaquil, se diseñó la siguiente hipótesis de investigación: H_0 : que la interrelación de la facilidad de acceso no influye en la percepción de la calidad por parte de los clientes de servicios Courier de la ciudad de Guayaquil. H_2 : El acceso a los establecimientos se relaciona con las valoraciones de la calidad del servicio en las empresas Courier.

De la misma manera, la hipótesis nula asevera la inexistencia de relación alguna, expresada como: $\rho = 0$ para la argumentación de esta hipótesis, y la hipótesis investigada manifiesta la analogía existente entre la interrelación del Acceso y la percepción de la calidad del servicio, expuesta como $\rho \neq 0$. Cabe aclarar que de forma resumida quedaría: $H_0: \rho = 0$; $H_2: \rho \neq 0$.

Las informaciones descritas se muestran en la Figura 3, describiendo de manera porcentual que la facilidad de acceso se relaciona con las valoraciones de la calidad del servicio.

Figura 3. Facilidad de Acceso y su relación con la calidad del servicio



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se evidencia que el coeficiente de correlación obtenido en la investigación es de 0.545, por lo que definimos la existencia de una correlación media entre la facilidad de acceso a los establecimientos y servicios. Al

analizar el valor de significancia bilateral, se demuestra que es inferior al 5%, por lo que rechazamos la hipótesis nula, existiendo un grado de relación entre el acceso a los establecimientos y la calidad del servicio.

Tabla 4. Correlación de Tau B de Kendall Hipótesis Específica 2

		Calidad del Servicio
Facilidad de Acceso	Coeficiente de correlación	0.545**
	valor-p de la significancia bilateral	0

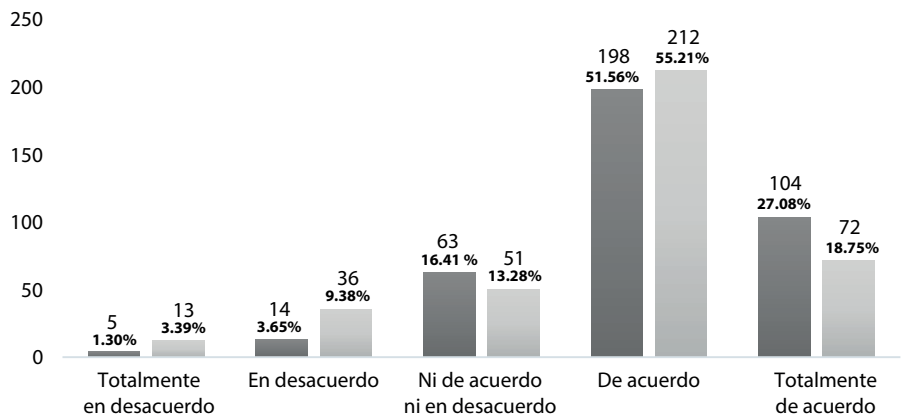
** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).
Fuente: Elaboración propia

Se propone también en el trabajo de investigación, establecer el grado de influencia entre la confiabilidad y la calidad del servicio percibida por los clientes de servicios Courier de la ciudad de Guayaquil. De la misma forma se analiza la comprobación de las hipótesis, se diseñan las siguientes: H_0 : la interrelación de los niveles de confiabilidad no influyen en la percepción de la calidad por parte de los clientes de ser-

vicios Courier de la ciudad de Guayaquil.
 H_3 : Existe influencia entre la confiabilidad de las empresas Courier con la calidad del servicio. Se resume de la siguiente manera:
 $H_0: \rho = 0; H_3: \rho \neq 0$

Se muestra en la Figura 4 que los niveles de confiabilidad tienden a subir porcentualmente según la calificación percibida por los clientes encuestados.

Figura 4. Niveles de Confiabilidad y su relación con la calidad del servicio



Fuente: Elaboración propia

Para poder comprobar la hipótesis, se estableció que el valor de significancia bilateral es inferior a 0.05, por lo que nos permite evaluar que no se debe aprobar la hipótesis nula, es decir, los niveles de confiabilidad influyen en la percepción de la calidad del servicio de los clientes que realizan sus envíos en los diferentes centros de servicios de la ciudad de Guayaquil, resultando un coeficiente de correlación Tau b Kendall de 0.630, el mismo se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Correlación de Tau B de Kendall Hipótesis Específica 3

		Calidad del Servicio
Niveles de Confiabilidad	Coeficiente de correlación	0.630**
	valor-p de la significancia bilateral	0

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).
Fuente: Elaboración propia

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se demostró que la capacidad de respuesta influye en la percepción de la calidad basada en los servicios, con un coeficiente de correlación de Tau b-Kendall de 0.619 y contrastándose con una prueba de hipótesis al 95% de confianza, siendo evidente que el 78,12% del total de clientes encuestados se encuentra “de acuerdo” y “totalmente de acuerdo” con que la eficiencia, agilidad, facilidad de rastreo de sus envíos son los más adecuados y al comparar con la calificación de la satisfacción de la calidad del servicio recibido; tenemos que el 74% de los consumidores se encuentra de acuerdo y totalmente de acuerdo con los servicios recibidos, pudiendo determinar que la capacidad de respuesta guarda relación directa con la calidad del servicio.

los servicios, demostrándose con un coeficiente de correlación de Tau b-Kendall de 0.545 y reflejándose mediante la prueba de hipótesis al 95% de confianza, siendo valorado por los consumidores, que las empresas Courier presenten diversidad de horarios de atención, una apropiada facilidad para llegar a sus establecimientos y una amplia cobertura nacional, lo que facilita o ayuda a la eficiencia y rapidez de sus envíos, evitando costos innecesarios; teniendo una representación del 76.04% que se encuentran “de acuerdo y totalmente de acuerdo” respectivamente y al compararlo con la satisfacción con el servicio recibido, indica que el 74% se encuentra satisfechos con dichos servicios ofrecidos por su empresa Courier, estableciendo que existe influencia entre estas dos variables.

Al término de la investigación se evidenció que la facilidad de acceso influye en la percepción de la calidad basada en

Se pudo demostrar que la confiabilidad influye en la percepción de la calidad basada en los servicios, demos-

trándose con un coeficiente de correlación de Tau b – Kendall de 0.63 y contrastándose con una prueba de hipótesis al 95% de confianza, debido a que los clientes consideran que la confiabilidad y resguardo de sus envíos es un factor importante en la calidad del servicio, teniendo, el tiempo de entrega y la infraestructura en los sus envíos son recibidos una alta participación; encontrándose el 78.64% de los clientes de acuerdo y totalmente de acuerdo que el acceso es un factor elemental en la calidad del servicio, al compararla con la calificación recibida en la satisfacción por parte de los servicios Courier prestados, se evidencia que la confiabilidad que brinden las empresas Courier guarda relación directa con la calidad del servicio.

Se corrobora que hay un alto índice de relación entre la percepción dada por el cliente que recibe el servicio y la calidad del servicio, por lo que se concluye que una disminución considerable de las variables puede hacer que los consumidores evalúen a la empresa por el trato recibido durante el proceso (Inicio del envío hasta la recepción del mismo); siendo la percepción o interrelación un factor primordial y el vínculo que este genere con la empresa, se debe realizar una investigación de otros factores que podrían afectar la calidad del servicio, tales como la “Atención al cliente” y la “Comunicación”, analizando el grado de influencia de ambos factores con la calidad del servicio.

REFERENCIAS

- [1] Aduana del Ecuador, “Envíos Courier o Postal”, 01 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.aduana.gob.ec/envios-courier-o-postal/>. [Último acceso: 18 Mayo 2017].
- [2] Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros, “Estadísticas Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros,” 07 Junio 2017. [En línea]. Available: <http://www.supercias.gob.ec/portalscv/>. [Último acceso: 14 Junio 2017].
- [3] Revista Líderes, “En 4 sectores se siente más la desaceleración,” *Revista Líderes*, vol. 1, n° 10, p. 1, 26 Julio 2016.
- [4] I. Pino Acosta, M. F. Ruiz Gómez, M. Murgueitio Bohorquez and F. Soriano, “Análisis del Sector Courier y el Efecto en los flujos de Efectivo por Clase Contribuyente,” *DSPACE ESPOL*, p. 7, 27 Febrero 2009.
- [5] Decreto Ejecutivo 1207, “Reglamento de los Servicios Postales,” de *Decreto Ejecutivo 1207*, Quito, 2008.
- [6] La Hora, “Correos del Ecuador trabaja a pérdida,” *La Hora Nacional*, p. 5, 27 Julio 2007.
- [7] L. C. De la Gasca Lopezdomínguez and R. Espinel Martínez, “Ley de Competencia y Regulación de Mercados en el Ecuador,” *Repositorio DSPACE ESPOL*, vol. 1, p. 14, 2009 Febrero 2009.
- [8] A. Sharón, G. Weil and G. Heckman, “Medición de la calidad de los Servicios”, Córdova (Tesis de Maestría, Universidad UCENA). Available: https://www.ucema.edu.ar/posgrado-download/tesinas2003/MADE_Weil.pdf, 2003.
- [9] Y. Díaz González and Universidad Central “Martha Abreu” de las Villas, “Conceptualización y Modelización de la Calidad del servicio percibida: Análisis Crítico” *Contribuciones a la Economía es una revista académica*, vol. 1, n° 1, pp. 1-27, 2009.

- [10] J. L. Palacios Gómez, Valoración psicométrica de la escala QPSC de la calidad percibida en servicio socioculturales locales, P. Gómez, Ed., Madrid, (Artículo de Maestría, Universidad Autónoma de Madrid). Available: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/13034>, 2013, p. 435.
- [11] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), “Clasificación Nacional de Actividades Económicas CIIU,” 12 Junio 2012. [En línea]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/di-rectoriodeempresas/> [Último acceso: 10 Julio 2017].
- [12] S. Ospina Pinzón, “Calidad de Servicio y valor en el transporte Intermodal de mercancías”, S. Ospina, Ed., Valencia: Valencia: (Tesis Doctoral, Universidad de Valencia). Available: <http://roderic.uv.es/handle/10550/43626>, 2016, p. 441.

Numerical comparison of standard κ - ϵ and realizable κ - ϵ turbulence models in multi-phasic fluids

Comparación numérica de los modelos de turbulencia κ - ϵ estándar y κ - ϵ realizable en fluidos multifásicos

L. Toapanta¹, C. Nieto-Londoño², W. Quitiaquez³

Abstract: *The comparison of two common turbulence models in Computational Fluid Mechanics is the central topic of this research, the standard κ - ϵ turbulence and κ - ϵ realizable models were analyzed in multiphase fluid, with the aggregation of nanometer-sized particles, with the aggregation of particles in nanometer size. Researchers find themselves in the dilemma of which turbulence model were used. In this work, we want to evaluate two turbulence models, looking for which one is more reliable and to evaluate the change in the process variables of nanoparticulate bearing fluids. It is established that the turbulence caused by the standard model is greater than the realizable model and that with the addition of the elements increases the turbulence that causes the increase in the thermal conductivity.*

Keywords: turbulence, models, CFD, multiphase fluids, nanoparticles.

Resumen: La comparación de dos modelos habituales de turbulencia en la mecánica de fluidos computacional es el tema central de esta investigación, los modelos de turbulencia κ - ϵ estándar y κ - ϵ realizable fueron analizados en un fluido multifásico, con la agregación de partículas de tamaño nanométrico. Los investigadores se encuentran en el dilema de que modelo de turbulencia se utilizará. En este trabajo se pretende evaluar dos modelos de turbulencia, buscando cuál es más fiable y evaluar el cambio en las variables de proceso de fluidos portadores que llevan nanopartículas. Se establece que la turbulencia causada por el modelo estándar es mayor que el modelo realizable y que con la adición de partículas aumenta la turbulencia que causa el aumento de la conductividad térmica.

Palabras clave: turbulencia, modelos, CFD, fluidos multifásicos, nanopartículas.

1 Luis Fernando Toapanta, Docente investigador de la Universidad Politécnica Salesiana - Quito, ltoapanta@ups.edu.ec

2 Ph.D. César Nieto-Londoño, ²Grupo de Investigación en Ingeniería Aeroespacial, Universidad Pontificia Bolivariana, circular 1ra No 73-34 (Bloque 22), Medellín, Colombia, cesar.nieto@upb.edu.co

3 William Quitiaquez Sarzosa, ³Docente investigador de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, wquitiaquez@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace más de dos décadas se ha utilizado la simulación numérica para describir el comportamiento que tienen los fluidos monofásicos, bifásicos o multifásicos, en el interior de una tubería o en sección abierta. Para lograr esta finalidad se ha usado la *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Torres [1] define que, el flujo multifásico es una situación física compleja en la que interviene una mezcla de dos o más sustancias, líquido, gas y sólido, las fases están separadas por interfaces a través de las cuales interactúan dinámicamente. Este tipo de fluidos se encuentran en innumerables aplicaciones industriales, tales como: transporte de sólidos, evaporación y condensación del agua y refrigerantes, entre otros.

El fluido multifásico circulando por una sección abierta o cerrada, posee propiedades de transporte como: la densidad, viscosidad, calor específico, conductividad térmica, velocidad, presión, entre otras. Al tratarse de un fluido con velocidad es indispensable establecer el régimen de este fluido, existen dos tipos: laminar y turbulento, para esto, es necesario determinar el número de Reynolds, que a su vez es función de algunas de las propiedades antes mencionadas.

Existen varios modelos de turbulencia para la simulación de flujos multifásicos [2]–[6]. El más empleado en CFD, a pesar de no ser un modelo tan simple, es el modelo κ - ϵ . Otros modelos de turbulencia utilizados son el de tensiones de Reynolds (RSM) o el modelo k - ϵ realizable (RKE) [7], [8], sin embargo, estos se utilizan cuando el proceso de simulación es muy complejo [9].

Los nanofluidos son considerados como un fluido de transferencia de calor y han estado en investigación en las últimas dos décadas. Su aumento en la transferencia de calor se debe a una pequeña concentración de nanopartículas que cambian o realzan drásticamente las propiedades termofísicas del fluido base. Estos nanofluidos están compuestos por un fluido base tal como agua, etilenglicol, propilenglicol y una pequeña fracción volumétrica de algún metal, óxido metálico o cerámico, así como otros materiales, con un tamaño de partícula que varía de 1 a 100 nm [10].

Los objetivos de este trabajo son simular mediante CFD el flujo multifásico, utilizando al vapor de agua, como sustancia principal, las simulaciones comprenderán dos modelos de turbulencia, simulaciones con un fluido base y un nanofluido, además de observar la variación de la turbulencia que sucede en el fluido.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción de la sección de análisis

En este trabajo se tomará como base se análisis el vapor de agua, proveniente de una caldera pirotubular de 15 Bhp, que llega a un distribuidor de vapor, en donde se derivan varias líneas hacia la producción e intercambio de calor, dos líneas están dedicadas a alta presión y otras dos para presión regulada. Es importante señalar que en este distribuidor también existe una línea de condensado

y eliminación de gases no condensables. El análisis se va a realizar en una línea de presión regulada, en la que se conocen las variables de proceso, como la presión y la temperatura del vapor. La tubería es de acero comercial, cédula 40, para las dos secciones; la sección de mayor diámetro, “D”, es de 2 pulgadas nominal con una longitud “L/2”, y la sección de menor diámetro, “d”, es de 1.5 pulgadas nominal con una distancia igual a “L/2”. En la Tabla 1 se aprecian estas dimensiones.

Tabla 1. Dimensiones de tubería de acero

Sección	Diámetro (mm)	Longitud, L/2 (mm)
D	60.3	600
d	48.3	600

Fuente: [11]

La sección de análisis es una contracción súbita, Figura 1, de longitud to-

tal de 1200 mm, y la contracción se encuentra en la mitad de la longitud total.

Figura 1. Sección de tubería de análisis



Fuente: Autores

2.2 Descripción del Flujo Multifásico

Peñarreta [12] escribe que, cuando un esfuerzo de cizalla actúa sobre un

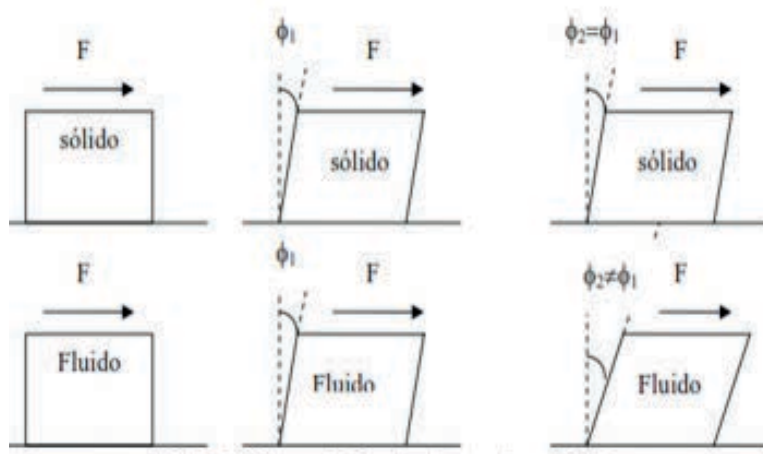
sólido, éste se deforma un cierto ángulo. Si el esfuerzo se mantiene, en un sólido, el ángulo permanece constante, mientras que en el fluido el ángulo au-

menta indefinidamente con el tiempo. Además, cuando el esfuerzo de cizalla desaparece, el movimiento desaparece, a diferencia del sólido, el fluido ya no recupera su forma inicial, como se aprecia en la Figura 2.

A medida que el fluido se transporta por la tubería, éste constantemente in-

tercambia calor con el entorno, derivando en un declive de la temperatura del mismo. El perfil de temperatura del fluido es afectado por los cambios de elevación y de velocidades, por la transferencia de calor, y por el efecto Joule-Thompson [13].

Figura 2. Esfuerzo de Cizallamiento sobre un Sólido y un Fluido



Fuente: [12]

Las dificultades de la transferencia de calor en tuberías o ductos cerrados se han convertido en un tema a investigar. Diferentes modelos han sido propuestos y utilizados dependiendo de: a) las condiciones del entorno (i.e. tubería aireada [14], tubería parcialmente y completamente enterrada [15]–[17]); b) la geometría de la tubería (i.e. vertical [18], horizontal [19]); y, c) los patrones de flujos [20]. La complejidad radica en el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, facto que, unifica los fenómenos involucrados en el

proceso (i.e. conducción, convección, radiación) [21].

La finalidad primordial para un modelo de flujo multifásico, es otorgar una relación entre la variación de presión y el caudal a lo largo de toda la extensión del tubo.

Los sistemas de flujo multifásico pueden clasificarse de acuerdo con las estructuras interfaciales en varios grupos principales usualmente llamados regímenes de flujo o patrones tales como flujo separado, flujo transicio-

nal o mixto y flujo disperso. Cuando los patrones de flujo son los mismos, puede esperarse que muchos de los sistemas multifase tengan cierto grado de similitud física [22]. Los patrones de flujo en un sistema dado dependen de las variables operacionales (caudales de fase), las variables geométricas (diámetro de la tubería y ángulo de inclinación) y las propiedades físicas del fluido (densidad, viscosidad y tensión superficial) [23].

2.3 Modelos de Turbulencia

El simulador de CFD que se utiliza en este análisis es el software ANSYS Fluent, entre los modelos de turbulencia disponibles están: κ - ϵ , κ - ω , esfuerzo de Reynolds, *Direct Numerical Simulation* (DNS), *Detached Eddy Simulation* (DES), *Large Eddy Simulation* (LES), los modelos de dos ecuaciones se consideran los más exitosos para la ingeniería práctica y los que requieren menos recursos computacionales para simular flujos [24]. El término realizable significa que el modelo satisface ciertas limitaciones matemáticas sobre los esfuerzos de Reynolds, consistentes con la física de los flujos turbulentos. En comparación con el modelo κ - ϵ estándar, el κ - ϵ realizable contiene una formulación

alternativa para la energía cinética κ , y una ecuación de transporte modificada para la velocidad de disipación ϵ , que se ha derivado de una ecuación exacta para el transporte de la fluctuación. Todos los modelos κ - ϵ de turbulencia utilizan la hipótesis de Boussinesq para relacionar los esfuerzos de Reynolds con los gradientes principales de la velocidad [25].

$$\frac{\tau_{ij}}{\rho} = -\overline{u_i u_j} = 2\nu_T S_{ij} - \frac{2}{3} k S_{ij} \quad (1)$$

Donde la energía cinética de turbulencia, k , está definida por:

$$k = \frac{1}{2} \overline{u_i u_i} \quad (2)$$

El tensor de la velocidad de deformación dado por:

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

La principal ventaja del uso de la hipótesis de Boussinesq es el bajo costo computacional asociado con el cálculo de la viscosidad turbulenta [25]. Además, existen ecuaciones de transporte adicionales; una asociada a la energía cinética de turbulencia, k , y la otra a la velocidad de disipación de la turbulencia, ϵ , específicas para el modelo κ - ϵ realizable, se ven a continuación: (4)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \epsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\nu_T}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S \epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b + S_\epsilon \quad (5)$$

Tabla 2. Nomenclatura

ρ	Densidad del fluido
τ	Tensor de esfuerzos de Reynolds
k	Energía cinética de turbulencia
ε	Tasa de disipación de turbulencia
ν_T	Viscosidad de arremolinamiento cinética
S_{ij}	Tensor de velocidad de deformación
G_k	Generación de energía cinética de turbulencia debido a la velocidad
G_b	Generación de energía cinética de turbulencia debido a la flotabilidad
σ_k	Número de Prandtl turbulento k
σ_ε	Número de Prandtl turbulento ε
Y_M	Contribución de dilatación fluctuante
u_t	Viscosidad turbulenta computada
$C_1, C_2, C_{1\varepsilon}C_{1,C_2,C_{1\varepsilon}, C_{3\varepsilon}C_{3\varepsilon}$	Constantes

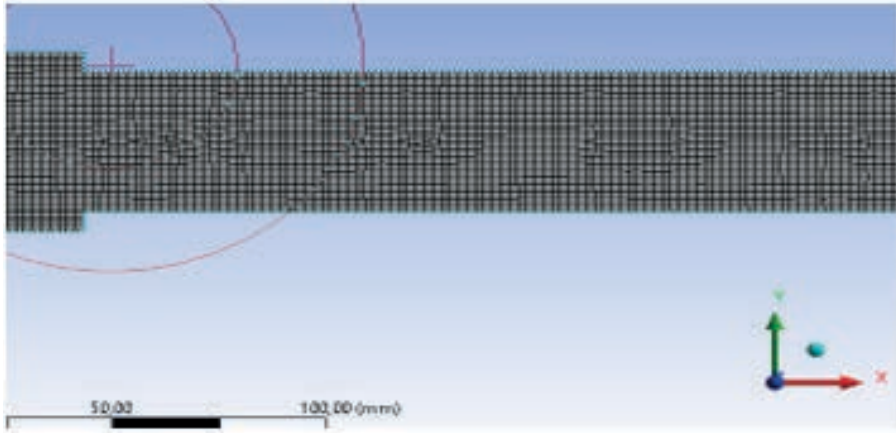
Fuente: [11]

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Mallado del flujo multifásico

A través del flujo multifásico evaluado con Fluent ANSYS, en este trabajo se espera comparar el efecto de la turbulencia en tubos de acero comercial, los modelos que se analizaron fueron: turbulencia κ - ε estándar y κ - ε realizable. El fluido con el que se trabajó fue

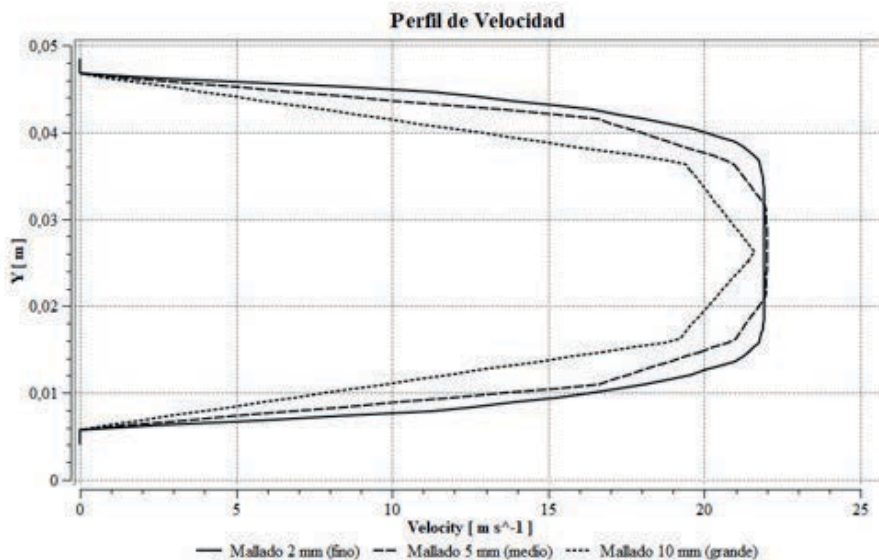
vapor de agua en la fase primaria y agua líquida en la fase secundaria. Como ya se mencionó, las simulaciones se realizaron con Fluent, además, de realizarlas en 2D, debido al alto recurso computacional que provoca llevar simulaciones en 3D. En la Figura 3 se aprecia el mallado de la contracción súbita del tubo.

Figura 3. Mallado de la contracción súbita del tubo

Fuente: Autores

Un aspecto importante en CFD es la independencia de malla, esta ha sido basada en la velocidad del fluido, en la Figura 4, se aprecian tres diferentes perfiles de velocidad en función del tamaño

de mallado; fino, medio y grande; de 2, 5 y 10 mm respectivamente, en donde el mallado fino brinda un perfil mejorado de la velocidad del flujo.

Figura 4. Independencia de malla, basado en la velocidad

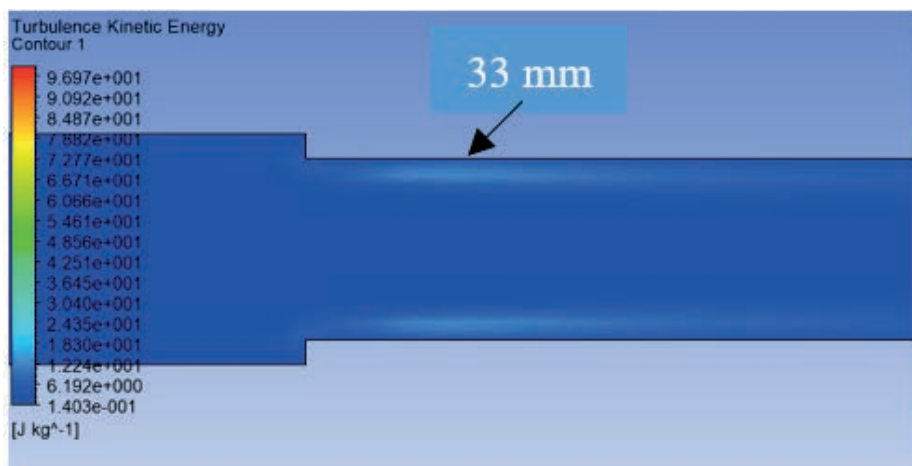
Fuente: Autores

Además, de hacer la comparación de los dos modelos de turbulencia, se añade otra fase al fluido. Esta fase se obtiene mediante la inyección de partículas sólidas de tamaño nanométricas (nm), convirtiendo al fluido base en un nanofluido.

3.2 Simulación numérica del flujo

En el primer caso, se hace una simulación de un fluido multifásico base con el modelo de turbulencia κ - ε estándar. La velocidad de con la que ingresan, las fases primaria y secundaria para este y todos los casos, es de 15 m/s. En la Figura 4 se observa la turbulencia generada en la contracción.

Figura 5. Energía cinética de turbulencia estándar en la contracción

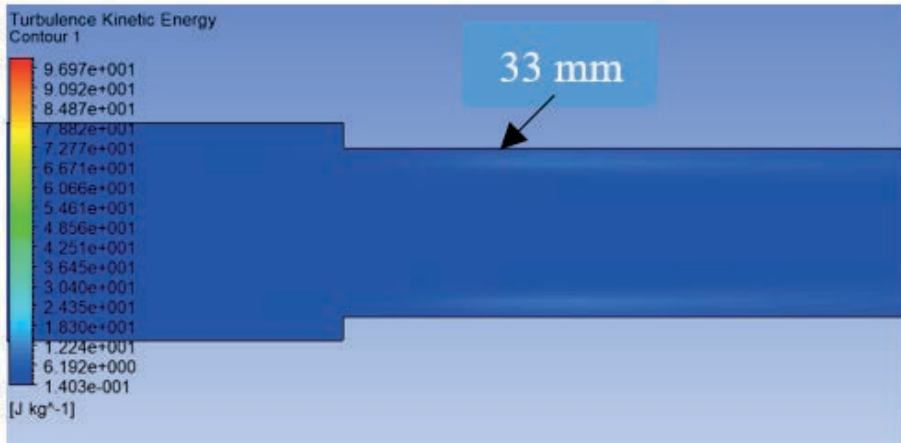


Fuente: Autores

Los campos de mayor turbulencia se presentan a 33 mm desde que comienza la expansión, además, es visible en la misma Figura 5, que la turbulencia sigue presente y en mayor grado después del escalón.

Para el segundo caso, se toma las mismas consideraciones que se aplicaron al caso uno, tanto en velocidad como temperatura y presión. El cambio

que se realiza en este fluido base es el modelo de turbulencia κ - ε realizable, los resultados de turbulencia se aprecian en la Figura 6. En el lugar donde existe mayor turbulencia con este método es a 35 mm, desde la reducción súbita sin embargo, al utilizar este método la turbulencia se reduce en 19 % con referencia al caso uno, en el sector de mayor turbulencia.

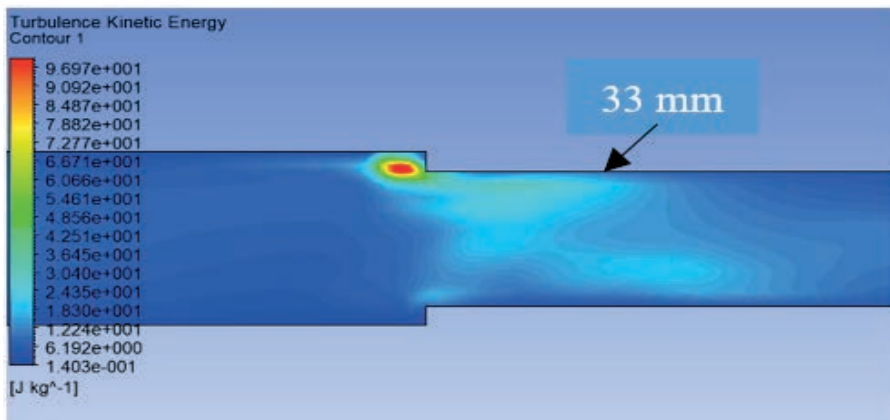
Figura 6. Energía cinética de turbulencia realizable en la contracción

Fuente: Autores

Para los casos tres y cuatro, se va a comparar los mismos modelos de turbulencia como se hizo en los casos uno y dos; es decir, turbulencia κ - ϵ estándar y κ - ϵ realizable, respectivamente. Sin embargo, para el caso tres se va agregar partículas de 100 nm de tamaño en forma esférica. La inyección de estas se realiza en dos puntos localizados, a 200

mm, desde que comienza el análisis de flujo o 400 mm antes de llegar a la contracción.

La adición de partículas manométricas logra transformar al fluido en un nanofluido con propiedades térmicas de transporte diferentes al del fluido base, al referirse a la conductividad térmica y turbulencia, provocan el aumento de estas.

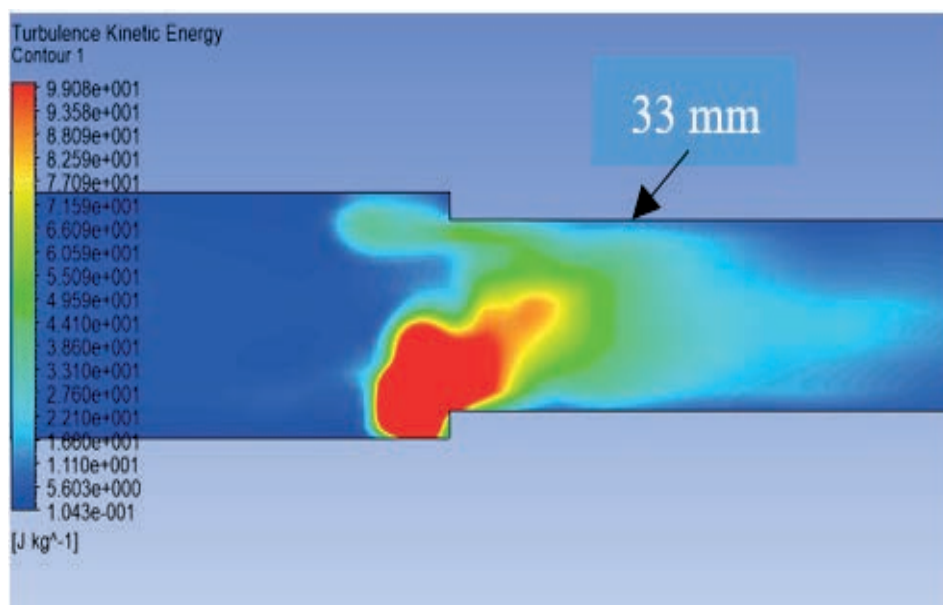
Figura 7. Energía cinética de turbulencia estándar en la contracción con nanopartículas

Fuente: Autores

En la Figura 7 se nota en gran medida el aumento en la turbulencia, a una distancia de 33 mm después del escalón, se calcula un aumento del 190 % en la turbulencia. Por otro lado, en la Figura 8, se observa la simulación del modelo κ - ε realizable con nanopartículas, en este caso la turbulencia se reduce en

comparación con el caso tres, sin embargo, existe un aumento del 155 % con relación al caso 2, que es turbulencia realizable sin nanopartículas. Existe una gran turbulencia en la parte baja de la tubería, esto se debe a que la simulación del fluido se la realizó utilizando la gravedad ($g=9.81 \text{ m/s}^2$).

Figura 8. Energía cinética de turbulencia realizable en la contracción con nanopartículas

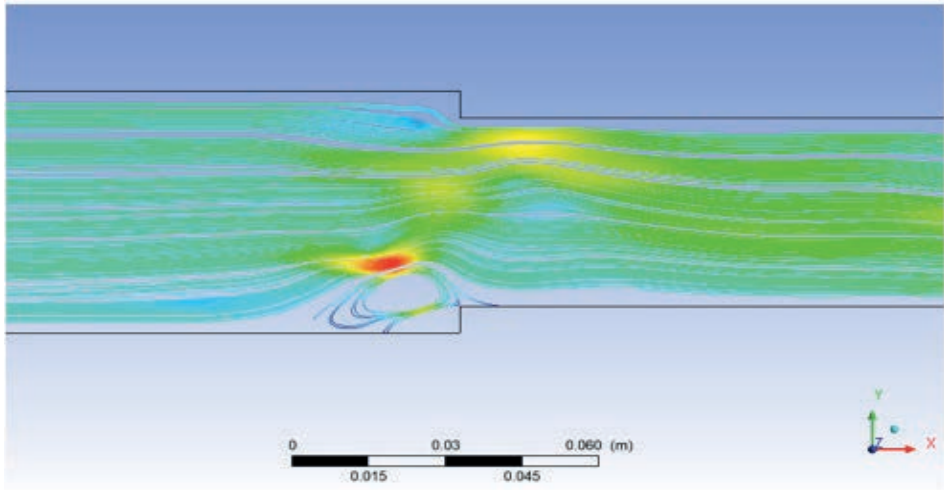


Fuente: Autores

Para finalizar, se muestra en la Figura 9, la representación con líneas de flujo de la turbulencia que se genera antes y después de la contracción de la tubería, este tipo de fenómeno es muy común cuando se trata de reducciones o expansiones.

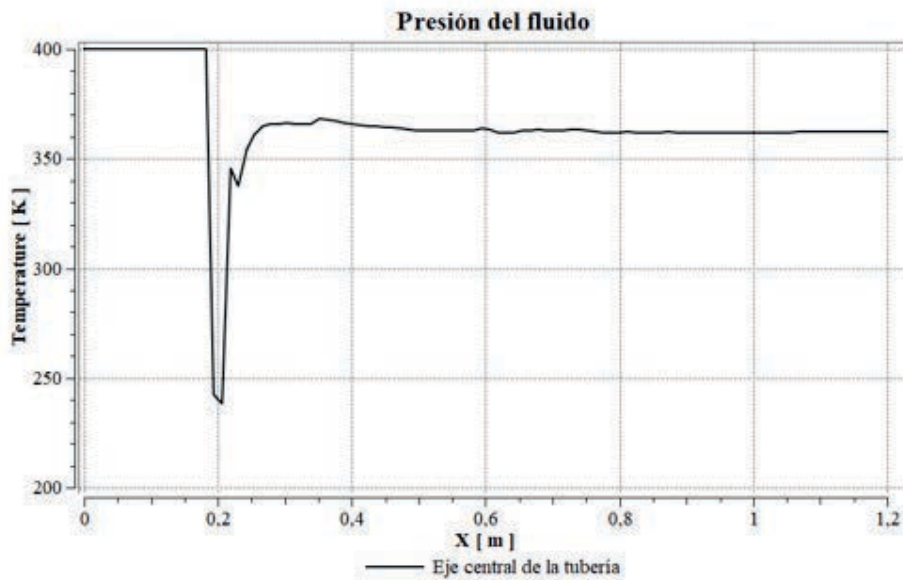
Por otro lado, en las Figuras 10 y 11 se indica la variación de la presión y temperatura, respectivamente, a lo largo del eje de la tubería, se puede apreciar en las dos Figuras que, existe un gran cambio de estas variables cuando se añaden las partículas metálicas a una distancia de 0.2 m, desde que inicia el flujo.

Figura 9. Líneas de flujo de turbulencia



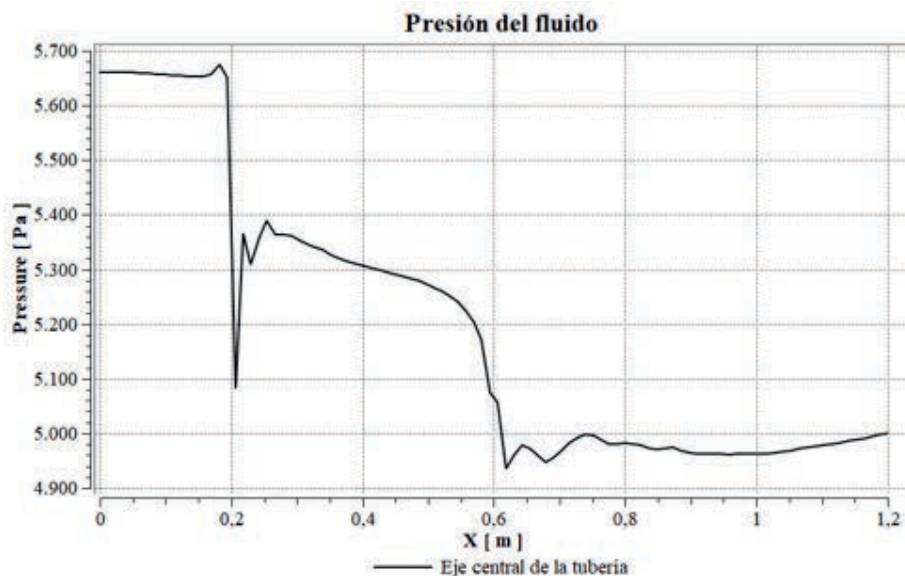
Fuente: Autores

Figura 10. Variación de la temperatura



Fuente: Autores

Figura 11. Variación de la presión



Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

La simulación con CFD ayuda a modelar el comportamiento interno de los flujos multifásicos, así como interpretar de mejor manera el cambio de las propiedades de transporte que poseen este tipo de fluidos.

Al comparar dos de los modelos de turbulencia que tiene Fluent ANSYS,

se verificó que; el modelo κ - ε realizable provoca menor turbulencia que el modelo κ - ε estándar.

Al añadir partículas de tamaño nanométrico a un fluido, se consigue que este aumente varias de sus características, entre ellas la conductividad térmica, presión y temperatura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen de forma cordial al Grupo de Investigación en Energías Renovables e Implementación Mecánica de Pymes de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador y

al Grupo de Investigación en Energía Termodinámica de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia; por sus grandes aportes a este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] M. J. Torres, "Estudio numérico de flujo turbulento cargado con partículas sólidas a través de canales y tuberías de sección variable," 2014.
- [2] D. Sambasivam and A. K. Bhattacharya, "Synthesis of CFD and Monte-Carlo simulations for improved design and operation of Dense Medium Cyclones," *Comput. Fluids*, vol. 96, pp. 47-62, Jun. 2014.
- [3] B. Zamora and A. S. Kaiser, "Simulación numérica del flujo turbulento de aire con gotas dispersas de agua a través de separadores de torres de refrigeración," *Rev. Int. Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ing.*, vol. 28, no. 3, pp. 148-160, Jul. 2012.
- [4] Q. Wang, M. C. Melaaen, and S. R. De Silva, "Investigation and simulation of a cross-flow air classifier," *Powder Technol.*, vol. 120, no. 3, pp. 273-280, Oct. 2001.
- [5] Y. Li, X. Zhang, X. Shen, H. Li, and K. Gao, "Experiment and simulation study on optimized structure of a gravitational air classifier," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 141, pp. 44-50, Aug. 2015.
- [6] R. Johansson and M. Evertsson, "CFD simulation of a gravitational air classifier," *Miner. Eng.*, vol. 33, pp. 20-26, Jun. 2012.
- [7] J. Tu, G. Yeoh, and C. Liu, "Computational fluid mechanics: a practical approach," Elsevier, 2008.
- [8] J. Blazek, *Computational fluid dynamics: principles and applications*. Butterworth-Heinemann, 2015.
- [9] H. A. Petit and M. R. Barbosa, "Simulación de un clasificador de polvo de flujo cruzado con altos contenidos de polvo," *Rev. Int. Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ing.*, vol. 33, no. 3, pp. 262-270, 2017.
- [10] P. Kumar, D. Dey, and S. Samantaray, "A Recent Review on Thermo-Physical Properties of Nanofluid," *Int. Conf. Electr. Electron. Optim. Tech.*, pp. 3555-3560, 2016.
- [11] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos*. Pearson educación, 2006.
- [12] R. F. Peñarreta, "Determinación de los patrones de flujo multifásico en tuberías horizontales y selección óptima de tuberías de producción para el Campo Libertador," 2012.
- [13] T. L. Gould and others, "Compositional two-phase flow in pipelines," *J. Pet. Technol.*, vol. 31, pp. 373-384, 1979.
- [14] G. Ortiz and K. Jaimes, "Desarrollo de un Software para el Modelamiento del Flujo Multifásico en Tubería Vertical y Horizontal," Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, 2015.
- [15] C. Arthur, L. Russell, and P. Adames, "An investigation of buried pipe outer heat transfer coefficient correlations," in *10th North American Conference on Multiphase Technology*, 2016.
- [16] D.-W. Oh, J. M. Park, K. H. Lee, E. Zakarian, and J. Lee, "Effect of buried depth on steady-state heat-transfer characteristics for pipeline-flow assurance," *SPE J.*, 2014.
- [17] O. Chukwuemeka and others, "Steady-state heat transfer models for fully and partially buried pipelines," *Int. Oil Gas Conf. Exhib. China*, 2010.
- [18] C. González and Y. González, "Transferencia de Calor en Pozos Productores de Hidrocarburos," Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
- [19] A. Romero and D. Salazar, "Herramienta Computacional para el Estudio del Comportamiento del Flujo Multifásico con Transferencia de Calor en Líneas de Flujo," Universidad Central de Venezuela, 2007.
- [20] H. Q. Zhang, W. Qian, C. Sarica, and J. P. Brill, "A unified mechanistic model for slug liquid holdup and transition between slug and dispersed bubble flows," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 29, no. 1, pp. 97-107, 2003.
- [21] F. R. Consuegra, M. Enrique, and C. Simancas, "Sistemas de recolección de crudo," vol. 15, pp. 87-99, 2017.

- [22] M. Ishii and T. Hibiki, *Thermo-fluid dynamics of two-phase flow*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [23] C. F. Torres-Monzón, "Modeling of oil-water flow in horizontal and near horizontal pipes," no. May, p. 117, 2006.
- [24] W. K. Anderson, J. C. Newman, D. L. Whitfield, and E. J. Nielsen, "Sensitivity Analysis for Navier-Stokes Equations on Unstructured Meshes Using Complex Variables," *AIAA J.*, vol. 39, no. 1, pp. 56-63, Jan. 2001.
- [25] N. M. C. Martins, A. K. Soares, H. M. Ramos, and D. I. C. Covas, "CFD modeling of transient flow in pressurized pipes," *Comput. Fluids*, vol. 126, pp. 129-140, Mar. 2016.

Optimization of the adjustment timing of the distribution of a Suzuki G13B twin cam engine by doe

Optimización de las cotas de reglaje de la distribución de un motor Suzuki G13B twin cam mediante diseño experimental

N. Rivera¹, A. Bermeo², J. Bustos³, C. Espinoza⁴

Abstract: *In the present work a study is developed on the main factors involved in the operation of the Otto cycle internal combustion engine, in particular the distribution adjustment levels, the advance to the ignition the dosing of the mixture and its influence on the emissions Pollutants and performance of the engine, to find a different operating point imposed by the manufacturer, given the special conditions of a motor prepared for competition, in which it is required to increase tractive power and power without affecting consumption and emissions Carbon monoxide, unburned hydrocarbons, carbon dioxide and oxygen. For this purpose an experimental design of Box-Behnken response surface is proposed, for which the levels of the input, output, noise and block variables are defined. After the experimentation, the data obtained through the residue analysis are validated and the maximum slope methodology estimates the values of the input variables for which pollutant performance and emissions are optimized. After the experimental verification of the values obtained in the optimization, increases of 6.76% and 6.72% in the Tractive Force and the power respectively are obtained.*

Keywords: *distribution timing, mix dosing, start-up, ignition, internal combustion engine Otto cycle.*

Resumen: En el presente trabajo se desarrolla un estudio sobre los principales factores que intervienen en el funcionamiento del motor de combustión interna ciclo Otto, en concreto las cotas de reglaje de la distribución, el adelanto al encendido el dosado de la mezcla y su influencia en las emisiones contaminantes y las prestaciones del motor, para encontrar un punto de funcionamiento diferente al impuesto por el fabricante, dadas las condiciones especiales de un motor preparado para competición, en el cual se requiere incrementar la fuerza tractora y la potencia sin afectar el consumo y las emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos no combustionados, dióxido de carbono y oxígeno. Para tal efecto se plantea un diseño experimental de superficie de respuesta Box-Behnken, para lo cual se definen los niveles de las variables de entrada, salida, de ruido y bloqueo. Tras la experimentación se validan los datos obtenidos a través el análisis de residuos y mediante la metodología de la máxima pendiente

-
- 1 Néstor Diego Rivera Campoverde, Docente Titular Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Ecuador, nrivera@ups.edu.ec
 - 2 Andrea Karina Bermeo Naula, Laboratorista Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Ecuador, abermeon@ups.edu.ec
 - 3 Juan Daniel Bustos González, Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Ecuador, jbustosg@est.ups.edu.ec
 - 4 Carlos Julio Calle Espinoza Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Ecuador, ccallee@est.ups.edu.ec

se estiman los valores de las variables de entrada para los cuales se optimizan las prestaciones y las emisiones contaminantes. Tras la verificación experimental de los valores obtenidos en la optimización se consiguen incrementos del 6.76% y

6.72% en la Fuerza tractora y la potencia respectivamente.

Palabras clave: cotas de reglaje de la distribución, dosificación de la mezcla, adelanto al encendido, motor de combustión interna ciclo Otto.

1. INTRODUCCIÓN

Dadas las cada vez más estrictas normativas ambientales y las elevadas exigencias que tienen los vehículos de competencia, se establece como motivo de especial análisis las condiciones de funcionamiento de un motor para las cuales se incrementan la Potencia y la Fuerza tractora sin influenciar el consumo y las emisiones contaminantes que el mismo genera.

Las prestaciones y las emisiones contaminantes generadas por un motor de combustión interna ciclo Otto están estrechamente relacionadas a diversos factores como la relación aire-combustible (AFR) [1], el adelanto a la apertura de admisión (AAA) [2], el retraso al cierre de escape (RCE) [3], el adelanto al encendido, para de esta manera aprovechar la mayor cantidad de la energía producida por la combustión para luego convertirla en trabajo [1].

2. METODOLOGÍA

2.1 Unidad experimental

El vehículo utilizado para la realización de las pruebas es uno marca Chevrolet modelo Corsa 1.3GL, mostrado

en la Figura 1. El vehículo fue modificado previo a la realización de este experimento, con el objetivo de aumentar la potencia y fuerza tractora.

Figura. 1. Vehículo de pruebas



Las características del vehículo de pruebas antes y después de ser modificado se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones del vehículo

Característica	Motor Std	Motor Modificado
Motor	G13B	
Potencia máxima	50.1KW @ 5335RPM	79.4 KW @ 6690 RPM
Torque	91.2Nm @ 4740RPM	110.3 Nm @ 6525 RPM
Cilindrada	1298 cm3	1370 cm3
Relación de compresión	9.5	10.5
Sistema de combustible	Monopunto	EFI - secuencial
Distribución	SOHC	Twin Cam (DOHC)
Válvulas por cilindro	2	4
Neumáticos	215/50 R13	215/50 R13

Para el desarrollo del experimento se utiliza el banco dinamométrico MAHA LPS 3000, el cual se muestra en la Figura 2, tanto para la generación de carga como para la toma de datos. El banco cuenta con un freno dinamométrico de corrientes parásitas que permite generar

carga a más de medir la fuerza tractora y potencia de forma simultánea. Se puede determinar potencia según según NTE INEN 0960 1984, Vehículos Automotores, determinación de Potencia neta del motor.

Figura 2. Banco dinamométrico MAHA LPS 3000



El banco consta de dos juegos de rodillos conectados a los frenos que captan la velocidad y par de giro, a más de ello el banco se conecta a una consola de sensores que permite monitorear condiciones ambientales como la presión atmosférica, humedad relativa y temperatura del aire. También se miden

la temperatura del lubricante, consumo de combustible y velocidad de giro del motor [6].

Para el análisis de la concentración de emisiones contaminantes en los gases de escape se utiliza el analizador de gases QROTECH QGA6000, cuyas características se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características del analizador de gases

Característica	Rango	Sensibilidad	Unidad
Monóxido de Carbono	0.00 - 9.99	0.01	%
Dióxido de Carbono	0.0 - 20.0	0.1	%
Oxígeno	0.00 – 25.00	0.01	%
Hidrocarburos no combustionados	0 – 9999	1	ppm
Óxidos Nitrosos	0 - 5000	1	ppm
Lambda	0 -2.000	0.001	-
Relación aire/combustible	0.0 – 99.0	0.1	-

2.2 Metodología empleada

Para el desarrollo del experimento se ha seleccionado un diseño experimental de superficie de respuesta Box-Behnken. El objetivo de escoger este diseño es su refinamiento de los modelos una vez determinado los factores más importantes para el experimento. Además, asegura cubrir todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores garantizando la mejor combinación para obtener un mejor resultado.

2.2.1 Definición de niveles

Para poder determinar los efectos que producen cada uno de los factores de estudio es necesario establecer los niveles dentro de los cuales se van a generar las

corridas experimentales. Estos niveles deben ser lo suficientemente lejanos para que se produzcan cambios significativos en la salida, sin embargo, se debe tener en cuenta que no se generen problemas durante el funcionamiento del motor.

Para obtener los niveles de los factores involucrados en el desarrollo del experimento se debe realizar corridas preliminares, estudiando el cambio producido al variar significativamente cada uno de ellos, y de esta manera establecer dichos niveles.

Antes de iniciar con la definición de los niveles de los factores de estudio involucrados en el experimento, es necesario establecer algunos factores de bloqueo importantes para el desarrollo del experimento.

2.2.2 Adelanto a la apertura de la admisión

La variación del adelanto a la apertura de la admisión (AAA) en cierta forma puede aumentar o disminuir las prestaciones del motor al igual que los agentes contaminantes producidos en la combustión.

Lo óptimo para un mejor funcionamiento del motor es conseguir el llenado completo del cilindro, lo cual se logra al adelantar la apertura de las válvulas de admisión ya que las válvulas se encuentran más tiempo abiertas y hay

un mayor intercambio de gases. Al conseguir esta mejora se pretende quemar una mayor cantidad de mezcla presente en la cámara lo que produce el aumento de las prestaciones del motor.

Para establecer los niveles de trabajo de este factor se considera los grados de variación que permiten las poleas regulables de la distribución, las mismas que presentan 9° de adelanto y 9° de retraso en el árbol de levas, lo que significa 18° de adelanto y 18° de retraso en el cigüeñal. En la Tabla 3 se muestran los niveles del factor AAA.

Tabla 3. Niveles del factor AAA

Factor	Nivel mínimo	Nivel intermedio	Nivel máximo
Adelanto a la apertura de la admisión	14°	20°	26°

2.2.3 Retraso al cierre de escape

Para conseguir un aumento de las prestaciones del motor, lo que se busca es el mejor vaciado de los gases combustionados, lo cual se logra a través del retraso del cierre de las válvulas de escape. Esto es necesario ya que al momento que se da el cruce de válvulas los gases deben intercambiarse inmedia-

tamente para comenzar nuevamente el ciclo de trabajo.

Para determinar los niveles de trabajo de este factor de estudio se utiliza la polea regulable de escape de la distribución, la cual da 9° de adelanto y retraso en el árbol de levas, por consiguiente 18° grados de adelanto y retraso en el cigüeñal. En la Tabla 4 se muestran los niveles del factor RCE.

Tabla 4. Retraso al cierre de Escape

Factor	Nivel mínimo	Nivel intermedio	Nivel máximo
Retraso al cierre de escape	23°	27.5°	32°

2.2.4 AFR

La relación aire-combustible es denominada AFR y cuya proporción ideal

es de 14,7kg de aire por cada 1kg de combustible. Esta relación se conoce como mezcla estequiométrica, la misma que influye en el comportamiento

del motor, tanto en su potencia, par, consumo de combustible y emisión de gases contaminantes. Hay que tener en cuenta que, al manipular este factor para aumentar las prestaciones del motor, no se debe descuidar el aumento de las emisiones de gases contaminantes. Para escoger el rango de valores del AFR

se establece una corrida experimental mediante la cual se logra determinar los valores topes de AFR dentro de los cuales el motor presenta un aumento de las prestaciones y disminución de su consumo.

Los niveles del factor AFR se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Niveles del factor AFR

Factor	Nivel mínimo	Nivel intermedio	Nivel máximo
Relación aire - combustible	11,1	11,8	12,5

2.2.5 Adelanto al encendido

La variación de este factor tiene mucha influencia sobre el comportamiento del motor, ya que si se adelanta demasiado puede provocar detonación lo que conlleva al aumento de gases contaminantes por lo tanto es necesario utilizar combustible de mayor octanaje para evitar dichos problemas. Sin embargo, si se retrasa demasiado se tiene como consecuencia la disminución de la potencia y aumento excesivo en el consu-

mo de combustible. La determinación de los niveles del adelanto al encendido se realiza mediante una corrida preliminar en la cual se utiliza un módulo de control reprogramable con la facilidad de manipular este factor durante el funcionamiento del motor. Se varía el avance al encendido hasta encontrar los límites dentro de los cuales el motor presenta un aumento de las prestaciones sin generar cascabeleo durante su funcionamiento. En la Tabla 6 se muestra el incremento del adelanto al encendido.

Tabla 6. Incremento del Adelanto al Encendido

Factor	Nivel mínimo	Nivel intermedio	Nivel máximo
Adelanto al encendido	23°	28°	33°

2.2.6 Tratamientos

Una vez definidos los niveles de trabajo para cada uno de los factores

de estudio presentados en la Tabla 7, se procede a definir las corridas experimentales.

Tabla 7. Niveles Experimentales

Factor	Nivel mínimo	Nivel intermedio	Nivel máximo
Relación aire - combustible	11,1	11.8	12,5
Adelanto al encendido	23°	28°	33°

Factor	Nivel mínimo	Nivel intermedio	Nivel máximo
Adelanto a la apertura de la admisión	14°	20°	26°
Retraso al cierre de escape	23°	27.5°	32°

3. RESULTADOS

3.1 Toma de datos

Las pruebas correspondientes a las corridas experimentales se desarrollaron en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Para la realización de estas pruebas el vehículo debe estar correctamente ubicado y asegurado en el banco dinamométrico, así como los equipos de adquisición de datos debidamente conectados y disponer las herramientas necesarias para efectuar los cambios entre corridas.

3.2 Aleatorización de las pruebas

Para asegurar que las mediciones realizadas puedan ser validadas, se aplica la aleatorización de las pruebas una vez obtenida la matriz del diseño experimental para eliminar efectos no deseados que se generan por factores ambientales y de ruido difíciles de controlar [4].

3.3 Protocolo de medición

Para garantizar la reproducibilidad y repetibilidad del experimento las muestras fueron tomadas siguiendo el protocolo que se describe a continuación.

- Preparar instrumentos de medición y adquisición de datos.

- Encender motor.
- Confirmar temperatura del refrigerante mayor a 90°C.
- Confirmar temperatura de la banda de rodadura entre 30 y 40°C.
- Confirmar temperatura del lubricante entre 80 y 85°C.
- Seleccionar la prueba a realizar según el orden de aleatorización.
- Adquirir datos de las condiciones ambientales.
- Apagar el motor.
- Regular el valor del AAA y RCE.
- Encender el motor.
- Establecer el régimen de giro del motor en el banco dinamométrico igual a 4000RPM.
- Comprobar el valor de la presión en el colector de admisión.
- Regular el valor del Adelanto al Encendido.
- Regular el valor de AFR.
- Mantener el motor funcionando al régimen de giro establecido hasta que se estabilice en cuarta marcha.
- Adquirir los datos de todas las variables planteadas.
- Liberar la carga del motor.
- Establecer el régimen de giro del motor en ralentí.
- Regular el Adelanto de Encendido a su valor inicial.

- Regular el factor lambda a su valor inicial.
- Mantener el motor funcionando por dos minutos.
- Apagar el motor.

3.4 Tratamiento de datos

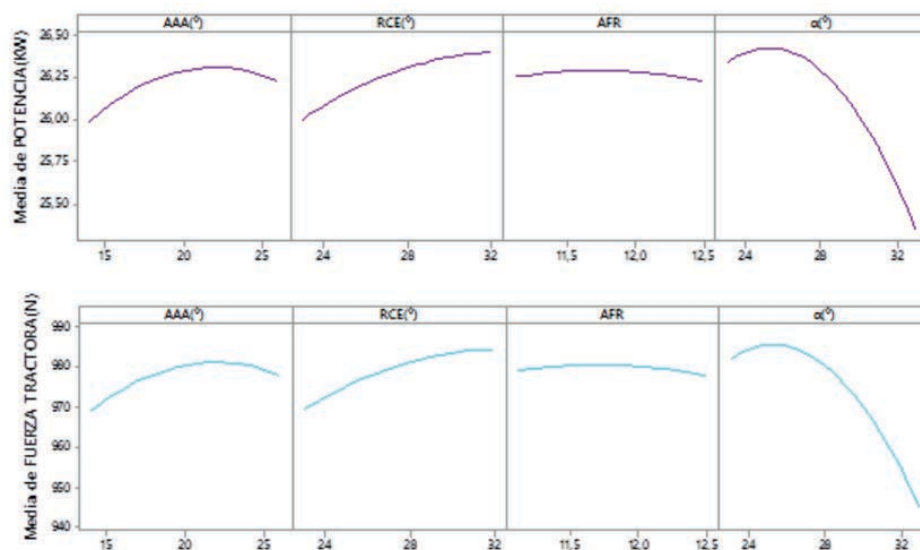
Para evitar la introducción de errores debido a las imprecisiones que se pueden tener en los resultados de las mediciones realizadas, los datos obtenidos antes de ser utilizados deben ser validados. Los modelos estadísticos que se van a desarrollar dependen en

tonces de las limitaciones de precisión y exactitud.

3.5 Potencia y Fuerza tractora

En la gráfica de efectos principales que se muestra en la Figura 3 se puede observar que los efectos que generan mayor influencia son el AAA y RCE, ya que al aumentar su valor se genera un incremento de potencia y fuerza tractora. La potencia decrece al tener un aumento elevado del Adelanto al Encendido. Respecto a la condición de la mezcla se puede apreciar que para valores de mezcla rica la potencia aumenta.

Figura. 3. Efectos principales Potencia y Fuerza tractora



3.6 Optimización

La optimización tiene como objetivo principal encontrar un punto de funcionamiento distinto de la inicial, en el cual el valor de las variables de sa-

lida alcance un punto de mayor deseabilidad, para este caso es aumentar las prestaciones del motor.

Se realiza también una optimización en la que se considera una reducción

del consumo de combustible y reducción de emisiones contaminantes, pero sin que esto afecte el incremento de las prestaciones del motor como ya se ha mencionado anteriormente, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Metas de Optimización

Factor	Meta
Potencia	Maximizar
Fuerza tractora	Maximizar
Consumo	Minimizar
HC	Minimizar
CO	Minimizar
CO ₂	Maximizar
O ₂	Minimizar

El método que se emplea es el de la pendiente máxima, con el cual se genera puntos de funcionamiento que se encuentran muy cercanos al óptimo. El comportamiento de los factores para alcanzar las prestaciones óptimas presenta una deseabilidad del 92%.

En la Tabla 9 se muestra los valores que debe tomar cada una de las variables de estudio que conforman la combinación que permita obtener el valor de prestaciones, emisiones y consumo más cercanos a lo óptimo.

Tabla 9. Valores de Optimización

AFR	$\alpha(^{\circ})$	AAA(^{\circ})	RCE(^{\circ})
12,5	24,31	25,88	32

3.7 Resultados de la optimización

Luego de haber realizado el proceso de optimización, las conFiguraciones obtenidas son implementadas y probadas en el motor, siguiendo el protocolo de toma de datos establecido.

3.8 Potencia relativa

Con el termino Potencia Relativa se hace referencia a la relación entre la potencia del motor que se obtiene con la conFiguración resultante del proceso de optimización y la potencia obtenida con las condiciones iniciales del motor. Se

logra obtener un incremento del 6,76 % en la Potencia al aplicar la conFiguración obtenida con el proceso de optimización.

3.9 Fuerza tractora relativa

Con el término Fuerza tractora relativa se hace referencia a la relación entre la Fuerza tractora del motor que se obtiene con la conFiguración resultante del proceso de optimización y la fuerza tractora obtenida con las condiciones iniciales del motor. Se logra obtener un incremento del 6,72% en la fuerza tractora al aplicar la conFiguración obtenida con el proceso de optimización.

4. CONCLUSIONES

Tanto la potencia como la fuerza tractora experimentan un incremento, del 6,76% y 6,72% respectivamente, que resulta ser un valor alto en cuanto a la mejora de las prestaciones del motor y con lo cual se manifiesta la importancia de determinar las cotas de reglaje de la distribución óptimas para un motor que ha sido modificado y del cual no se tienen los datos para su puesta a punto.

Es posible obtener un nivel de prestaciones prácticamente igual al máximo posible, a la vez que se economiza combustible y se reducen los niveles de emisiones contaminantes, ya que al aplicar la optimización en la que se consideran estas metas se obtiene una reducción del 0,26% y 0,27% para la potencia y fuerza tractora respectivamente, que resulta insignificante si se tiene presente que es posible obtener resultados muy

cercanos a los óptimos siendo en cierta forma amigables con el ambiente.

El valor de Adelanto al Encendido requerido para obtener el máximo aumento en las prestaciones del motor, corresponde al valor mínimo establecido en el experimento para este factor, ya que al aumentar el mismo las prestaciones disminuyen. Se determina así que esto se genera debido a que, al adelantar demasiado el tiempo del salto de la chispa, la presión en el interior del cilindro aumenta considerablemente generándose el efecto de pistoneo ya que el combustible empleado detona debido a que por su índice de octanaje no es posible que pueda resistir presiones más elevadas. Esto se ve afectado también por el valor del ángulo de cruce de válvulas más grande, ya que, al tener mejor llenado de los cilindros, la presión en los mismos se incrementa.

REFERENCIAS

- [1] V. Araujo and W. Pintado, *Caracterización del tipo de gasolina en función de la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido en un motor ciclo Otto para una altitud de 2500 msnm mediante termografía*, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [2] J. R. Serrano and J. Galindo, "Renovación de la carga en motores 4T," de *Motores de Combustión Interna Alternativos*, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, 2011, pp. 216-217.
- [3] A. Cuadra, "Técnica Moto125.cc - La distribución," 19 julio 2013. [En línea]. Available: <http://www.moto125.cc/f125cc/reportajes/tenica/item/746-tecnica-distribucion?pop=1&tmpl=component&print=1>. [Último acceso: 26 marzo 2016].
- [4] N. Rivera and J. Chica, *Estudio del comportamiento de un motor ciclo Otto de inyección electrónica respecto de la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido para la ciudad de Cuenca*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [5] O. Armas and A. Lecuona, "Ciclos de trabajo," de *Motores de Combustión Interna Alternativos*, Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, 2011, p. 54.
- [6] H. Gutiérrez and R. Vara, *Análisis y diseño de experimentos*, México D.F.: McGraw-Hill, 2012.

The effect of security and reliability in the quality of service

El efecto de la seguridad y confiabilidad en la calidad del servicio

F. Villacrés¹, R. Álvarez², J. Carabali³

Abstract: *This article is looking to respond to the doubts that exist between the relationship of the security variables and the trust of the quality of service of a beer distributor company in the city of Guayaquil, with the objective being the determination of the influence of the aspects of security and trust of the service. With the application of a questionnaire of 7 questions, together with a study correlational-explanative we can follow the coefficients of Tau b from Kendall in the analyzed variables. We can obtain an important relationship between the variables security and trust of the quality of service of a beer distributor company in the city of Guayaquil. In this study the conclusions with the highest relevance that were found show the acceptance of the hypothesis planted, in the view that all studied cases the values p of the bilateral significance are less than 5%.*

Keywords: *quality, reliability, safety, service.*

Resumen: El presente artículo busca responder las dudas que existen sobre la relación de las variables seguridad y confiabilidad con la calidad del servicio de una empresa distribuidora de cerveza en la ciudad de Guayaquil, siendo el objetivo general la determinación de la influencia de los aspectos seguridad y confiabilidad con la calidad del servicio. Con la aplicación de un cuestionario de 7 preguntas junto con un estudio correlacional-explicativo se consigue coeficientes de Tau b de Kendall en las variables analizadas. Se obtiene una importante relación entre las variables seguridad y confiabilidad con la calidad del servicio de la empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil. En este estudio las conclusiones con mayor relevancia que han sido encontradas muestran la aceptación de las hipótesis que se han planteado, en vista de que en todos los casos estudiados los valores p de la significancia bilateral son menores al 5%.

Palabras clave: calidad, confiabilidad, seguridad, servicio.

1 Fabián Isaac Villacrés Beltrán, Master en Administración de Empresas, Director de la carrera Administración de Empresas, Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, fvillacres@ups.edu.ec

2 Raúl Jimmy Álvarez Guale, Director de la carrera Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador, ralvarezg@ups.edu.ec

3 Jenifer Carabali Mariño. Estudiante de la carrera Administración de Empresas, Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador, jcarabalim@est.ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

El auge cervecero en Ecuador inició en el año 1913, cuando Pilsener salió al mercado, misma que fue de gran agrado a los consumidores del país. La aprobación que tuvo esta nueva marca por parte del público fue tal que se llegó a un acuerdo entre la reconocida marca y la Empresa de Ferrocarriles pertenecientes al estado, que consistía en rentar un vagón que transportaría la cebada, desde la sierra hasta el lugar en donde se produciría la cerveza y así otros medios de transporte poco a poco se fueron uniendo para servir a la nueva empresa de Guayaquil [1].

Luego de todo el crecimiento cervecero que se vivía en el país, el cual fue iniciado por la Compañía de Cervezas Nacionales, se realizaron muchos cambios, entre estos, medidas políticas o reglamentos con los que esta empresa y cualquiera que opere con el mismo tipo de producto, debía cumplir [1].

Las industrias de las bebidas alcohólicas son y seguirán siendo uno de los mejores negocios y uno de los que más dinero y masas mueve, es una parte del mercado que no se ve afectado por las comunes crisis económicas que afectan al resto de las empresas [2].

Ecuador, según el INEC cuenta con dos marcas consideradas líderes en el mercado nacional, Cervecería Nacional que produce Pilsener y que cuenta con más de 2000 colaboradores, y AmBev, productora de la cerveza Brahma, ade-

más de que se calculan alrededor de 18 microempresas cerveceras [3].

Las múltiples encuestas que se han realizado muestran que Cervecería Nacional es la primera en la lista de preferencias de bebidas alcohólicas que los consumidores deciden comprar, convirtiéndose en empresa líder en el mercado con una demanda de 87,5% [2].

Es importante que las empresas cerveceras o distribuidoras de cerveza cumplan con todas las normas sanitarias que se les exige. Con un correcto análisis periódico de las actividades que se realizan para cumplir con los procesos de higiene ayudará a la empresa a mejorar sus estándares de calidad [4].

Una empresa que efectúa de manera correcta sus actividades de producción, es una empresa que cuenta con servicio de transporte, maquinarias, suministros de servicios básicos, personal competente y una planta, adecuados para el correcto funcionamiento de la producción [4].

Todas las técnicas de calidad a las que las empresas se auto someten sirven para convertir a las mismas en empresas competidoras que pueden conquistar y competir dentro del mercado. La mayoría de las empresas basan su sistema de calidad en la ISO 9000 y hacen de la calidad, su ventaja competitiva. [5].

Hoy en día, la calidad es considerada un factor de alta importancia para las organizaciones, ya que la supervivencia

de las mismas depende de la calidad con la que ofrecen servicios y productos.

Una de las definiciones más conocidas y fáciles de comprender, fue planteada por W. Edwards Deming, pionero del estudio de la calidad, que planteo “El proveer buena calidad significa hacer lo correcto de la manera correcta” [6].

Es de conocimiento público o general que una organización que no solo consigue clientes, sino que también logra que estos se fidelicen a sus marcas o productos, son aquellas que alcanzan el éxito [7].

Figuras importantes como Deming, Feigenbaum, Juran y Crosby son quienes hacen de la calidad toda una historia. Uno de los primeros libros sobre calidad “El control de calidad”, escrito por Joseph Juran, mismo que ha sido editado y traducido a varios idiomas, es el que muestra la importancia de la calidad y cómo influye en las decisiones de los clientes, convirtiendo a Juran en uno de los pioneros de la calidad, además que logró revolucionar muchas tácticas de servicio al cliente en las empresa [8].

Los clientes siempre esperan no solo recibir un buen producto, sino también

un excelente servicio, junto con la calidad, confiabilidad, seguridad, buenos precios e innovación por parte de sus proveedores [9].

En la actualidad la competencia entre las empresas por ser la mejor dentro del mercado ecuatoriano es ardua, por lo que se han visto presionadas para mejorar su servicio y llamar así la atención de los clientes y convertirlos en clientes fieles a un producto o servicio. Para esto implantan medidas de innovación en los productos o servicios o campañas de capacitación a sus colaboradores para que brinden servicios de alta calidad.

Si bien es cierto la calidad es uno de los aspectos más difíciles de medir, muchas veces los conceptos son erróneos o confusos o se relacionan netamente al producto y a sus características, y dejan de lado aspectos intangibles que son los que influyen en la calidad del servicio como tal.

De manera que se puede decir en general que la calidad se debe basar en evaluar y definir cuáles son las necesidades de los clientes y como se las puede satisfacer, con la finalidad de proveer un servicio de excelencia [10].

2. METODOLOGÍA

En la presente investigación el objetivo específico es determinar si los aspectos de seguridad y confiabilidad influyen en la calidad de un servicio de una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil. Así, se plantean

los siguientes objetivos específicos: I) Establecer la relación que existe entre la seguridad con la calidad del servicio en una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil. II) Determinar la influencia que existe entre

la confiabilidad y la calidad del servicio en una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil.

Basándose en el mencionado objetivo, como un punto de partida se tiene la hipótesis de que los aspectos de seguridad y confiabilidad influyen en la calidad de un servicio de una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil.

De esta hipótesis nacen hipótesis específicas como: H1: Existe relación entre la seguridad y la calidad del servicio en una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil. H2: Existe influencia entre la confiabilidad y la calidad del servicio en una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil.

Con el fin de que los objetivos se cumplan se usó un análisis correlacional-explicativo, ya que se cree que existe una relación entre las variables que se están estudiando, lo que guiará a determinar si la relación entre las variables y la calidad del servicio de una empresa distribuidora de cerveza en la ciudad de Guayaquil influye en la decisión de compra del consumidor.

Para obtener la información de relación se utilizaron cuestionarios, en el que cada pregunta se evalúa en una escala del 1 al 5, donde 5 nos indica que el encuestado está “Totalmente de acuerdo” con lo planteado en la pregunta y la valoración de 1 significa que el encuestado está “Totalmente en desacuerdo”.

En función de validar el cuestionario contestado por los consumidores se ha decidido utilizar el método de coeficiente de Alfa de Cronbach, el mismo que permite evaluar la confiabilidad de un instrumento de medida [11].

Las preguntas están basadas en dos variables enfocadas en la seguridad y confiabilidad y su relación con la calidad del servicio, tales que se detallan en la Tabla 1.

La población del estudio está conformada por los clientes de la distribuidora de cerveza en la ciudad de Guayaquil, clientes que han sido escogidos aleatoriamente de la base de datos con la que cuenta la compañía con datos de hasta febrero del 2017.

Tabla 1. Preguntas basadas en la seguridad y confiabilidad

Variable	Dimensión	Indicadores
Seguridad y confiabilidad basada como componente de la calidad del servicio	Seguridad	Seguridad en la entrega productos
		Seguridad en el transporte
		Seguridad al cliente
	Confiabilidad	Confiabilidad en la información que se tiene del producto
		Confiabilidad en las promociones
		Personal confiable
Calidad del servicio por parte de los consumidores	Calidad del Servicio	Calidad del servicio

Fuente: Autores

Guayaquil, la ciudad en la que se realiza la investigación, es la misma en donde opera la empresa distribuidora de cerveza, y en la que existen 1 252 550 habitantes considerados económicamente activos, los cuales forman parte de los consumidores en potencia que prefieren o podrían preferir la empresa en mención. Con el fin de obtener el tamaño muestral, se pondrá en práctica la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 NPQ}{e^2(N-1) + z_{\alpha/2}^2 PQ} \quad (1)$$

El valor de n en la fórmula expresa el valor de la muestra, mismo que ayudará a determinar la probabilidad de que la proporción tenga la característica de estudio de la variable P , en donde P será 0.5, siendo este el máximo valor de varianza no conocida. La variable Q , refiere a la cantidad de sujetos que no tienen en común las particularidades de estudio, que en este caso es de 0.5 como se había mencionado.

El margen de error permitido en la investigación será el que se representa como “ e ”, que en este caso es de $\pm 3\%$. En cuanto al valor de significancia, este será representado por “ α ”, que en nuestra investigación será el 5% y, $z_{\alpha/2} = 1.96$ para el nivel de confianza 95%, basándose en la Tabla de distribución normal.

En la ciudad de Guayaquil, siendo una de las ciudades del Ecuador con mayor apogeo comercial y poblacional,

la cervecería contaba con 1 252 550 clientes hasta enero del 2017. Considerando este valor como la población, el tamaño de muestra resultante después de aplicar la ecuación 1 fue de 385 clientes.

Las hipótesis expuestas en la presente investigación están basadas en los ejemplares de diferentes autores expertos en el tema que explican la relación entre variables y dimensiones planteadas en la matriz de operaciones de variables, tal que la hipótesis nula da como resultado la ausencia de correlación entre las variables y las dimensiones.

Las hipótesis serán probadas a través de la regla que plantea que, la hipótesis nula se acepta si valor- p de la significancia bilateral es $>$ que el nivel de significancia α , que para este estudio es igual al 5% (Walpole, Myers, Myers, & Keying Ye, 2012).

Por medio del software estadístico Statistical Package for the Social Sciences o comúnmente conocido por IBM-SPSS, se obtendrá el valor p junto con el coeficiente de correlación Tau- b de Kendall, considerado el más apropiado para medir variables cualitativas. Es importante usar un coeficiente de correlación que mida la relación que existe en las variables ordinales.

Para estas investigaciones, valoradas en la escala de Likert, es recomendable usar el coeficiente de Kendall (Badii, Guillen, Serrato, & Aguilar, 2014).

3. RESULTADOS

Con el fin de obtener resultados precisos y confiables de las preguntas que se les realizó a los clientes de la distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil, es importante ejecutar en primer lugar, un análisis de fiabilidad del instrumento que se usó para recoger la información que se necesitaba. En la presente investigación, se usó el coeficiente de Alfa de Cronbach, con la finalidad de saber que tan confiable es la encuesta que se llevó a cabo.

Por medio del instrumento SPSS, se ejecutó el estudio y análisis de confiabilidad de las 7 preguntas planteadas en el cuestionario, mismo que arrojó un coeficiente de 0,807, demostrándose que el instrumento es confiable.

En cuanto al objetivo general mostrado, de determinar si los aspectos de seguridad y confiabilidad influyen en la calidad del servicio de una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil, se diseñó la hipótesis inicial, (H0) que, los aspectos de seguridad y confiabilidad no influyen en la calidad de un servicio de una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil.

Debido a esto, es necesario diferenciar la prueba de hipótesis que se expresa a continuación, (H1): Los aspectos de seguridad y confiabilidad influyen en la calidad de un servicio de una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil.

La inexistencia de relación entre las variables se considera como la hipótesis

nula y se expresa como: $q=0$, y la hipótesis que se investiga, la que indica la relación entre la seguridad y la confiabilidad con la calidad del servicio, se expresa como: $q \neq 0$. Entonces, las pruebas de hipótesis serían: H0: $q=0$; H1 $q \neq 0$.

Con la finalidad de disentir la hipótesis que se ha planteado, se requiere tener una idea gráfica porcentual de cómo se comportan los datos. En la Figura 1 es posible observar que los resultados de la variable seguridad y confiabilidad tienden a subir, mientras que los porcentajes de la calidad del servicio tienen el mismo comportamiento, a excepción del último descriptor. Estos resultados, indican que existe alguna relación entre las variables estudiadas.

Luego de la correcta revisión de los datos y su comportamiento, es importante analizar la correlación en la Tabla de Tau b de Kendall de la hipótesis general expresada en la Tabla 2. Es necesario observar que la correlación es de 0.526, por lo que se puede decir que existe una relación media entre la variable de seguridad y confiabilidad establecida como unidad importante y la calidad del servicio. Para la verificación de la hipótesis vamos a referir al sistema propuesto en esta investigación.

Como se muestra en la Tabla 2, p es la significancia bilateral y es igual a 0, por lo que es menor al valor de significancia $\alpha = 0.05$, y ante este resultado, no se acepta la hipótesis nula, concluyendo que la seguridad y confiabilidad

influye y tiene relación con la calidad del servicio en una empresa distribui-

dora de cerveza en la ciudad de Guayaquil.

Figura 1. Seguridad y confiabilidad con la calidad del Servicio

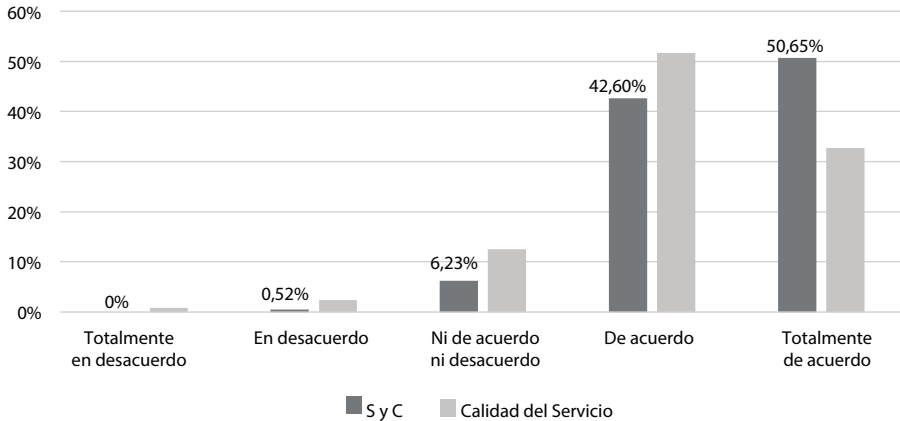


Tabla 2. Correlación de Tau b de Kendall hipótesis general

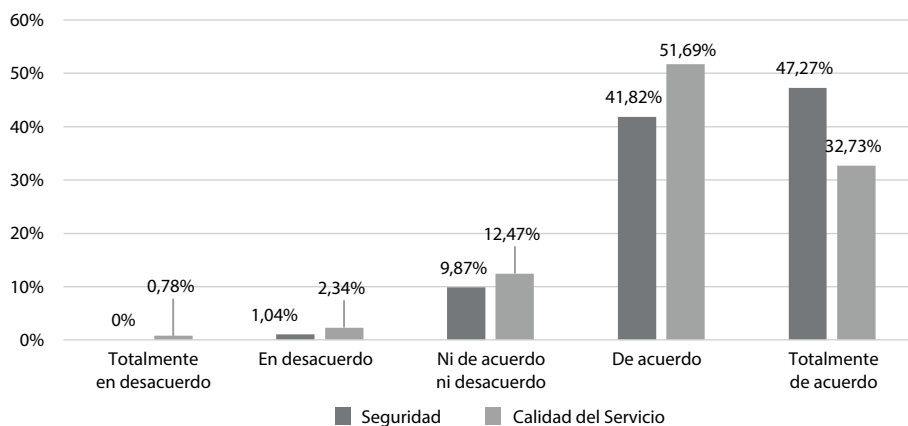
		La calidad del servicio
Seguridad y Confiabilidad	Coefficiente de correlación	0,526**
	Sig. (bilateral)	0

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

El objetivo específico que se propone en la investigación, trata de establecer la relación que existe entre la seguridad con la calidad del servicio en una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil, se estableció la hipótesis H0: No existe relación entre la seguridad y la calidad del servicio en una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil. H1: Existe relación entre la seguridad y la calidad del servicio en una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil. La hipótesis nula afirma que no existe relación entre las variables y se expre-

sa como: $\rho=0$ para el planteamiento de la hipótesis, y la hipótesis investigada expone la relación existente entre la seguridad y la calidad del servicio en una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil, expresada como $\rho \neq 0$. Esclareciendo de manera resumida, tenemos: H0: $\rho=0$; H1: $\rho \neq 0$

La Figura 2 muestra los datos que expresan como la calidad del servicio sube en relación a la seguridad del servicio. Se puede observar una leve disminución; lo que asume la posibilidad de una relación entre las variables.

Figura 2. Seguridad con la calidad del Servicio

En la Tabla 3 se observa que el coeficiente de correlación es de 0.508, por lo que se puede plantear que existe correlación entre la seguridad y la calidad del servicio de la distribuidora de cerveza. Luego de un análisis de signifi-

cancia bilateral, podemos concluir que el valor es inferior al 5%, por lo que se rechaza la hipótesis nula, es decir, que existe relación entre la seguridad y la calidad del servicio de la empresa distribuidora.

Tabla 3. Correlación de Tau_b de Kendall hipótesis específica 1

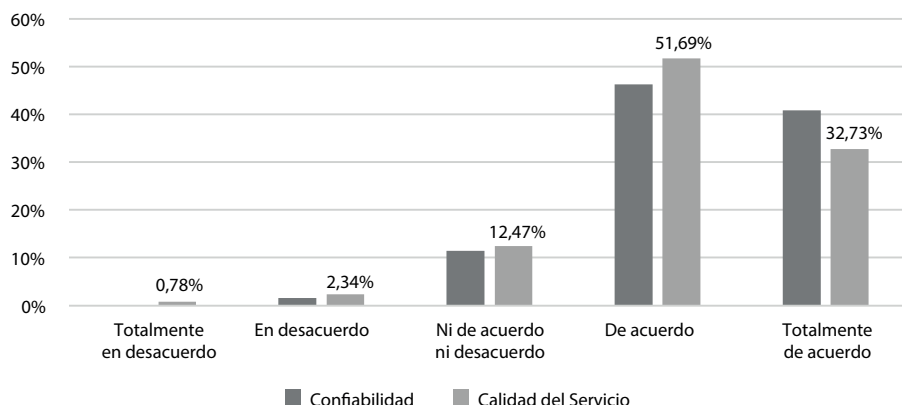
		La calidad del servicio
Seguridad	Coefficiente de correlación	0,508**
	Sig. (bilateral)	0

**La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

En la actual investigación se plantea también estudiar la relación que existe entre la confiabilidad y la calidad del servicio de la distribuidora cervecera de la ciudad de Guayaquil. De igual forma, se plantean a continuación, las siguientes hipótesis H0: La confiabilidad no influye en la calidad del servicio de la empresa distribuidora de cerveza en la ciudad de Guayaquil. H2: La confiabili-

dad influye en la calidad del servicio de la empresa distribuidora de cerveza en la ciudad de Guayaquil. Teniendo así: H0: $\rho=0$; H2: $\rho\neq 0$.

Revisando la Figura 3 se puede concluir que la confiabilidad y la calidad del servicio suben porcentualmente según la medida de calificación que se usó, y ambas disminuyen en el último descriptor levemente.

Figura 3. Confiabilidad y Calidad del Servicio

En la Tabla 4, con el fin de que la hipótesis sea contrastada, se determinó que la significancia bilateral es inferior a 0.05, por lo tanto, no se debe aprobar la hipótesis nula, es decir, la confiabi-

lidad influye en la calidad del servicio en una empresa distribuidora de cerveza de la ciudad de Guayaquil, siendo el coeficiente de correlación de Tau b de Kendall igual a 0.477.

Tabla 4. Correlación de Tau_b de Kendall hipótesis específica 2

Confiabilidad	La calidad del servicio	
	Coeficiente de correlación	0,477**
	Sig. (bilateral)	0

**La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una vez determinado el efecto que tiene la seguridad y la confiabilidad en la calidad del servicio de una distribuidora cervecera en la ciudad de Guayaquil a través de la prueba de hipótesis probada por medio del coeficiente de correlación de Tau b de Kendall, se llegó a la conclusión con un nivel de significancia de 5% de que la relación es positiva y media.

La significancia bilateral resulto menor a 0.05 y el coeficiente de corre-

lación fue 0.526, siendo este el resultado más importante en la investigación, porque se demuestra desde un punto de vista estadístico que la seguridad y confiabilidad en un servicio, influyen en la calidad del mismo, siendo así el caso, que se conocen estudios que afirman que la calidad del servicio mejora cuando se cumplen algunas variables cualitativas, aunque aún no se logra llegar a un conceso sobre cuales exactamente

influyen de manera directa, entre esas la seguridad y confiabilidad son las variables que más se acercan [14].

Además, la relación existente entre la variable seguridad con la calidad del servicio de una empresa distribuidora de cerveza en la ciudad de Guayaquil fue comprobada. Mediante una prueba de hipótesis de coeficiente de Tau b de Kendall; el coeficiente fue igual a 0.508. El valor p de significancia con el que se comparó la hipótesis fue menor a 0.05. La interacción entre la seguridad y la calidad del servicio existe y es positiva, es decir que existe relación entre las variable y media, que se refiere a que su relación no es tan fuerte. La seguridad, siendo de gran importancia para la mejora de la calidad del servicio, se debe demostrar a través de la experiencia y conocimientos que posee una empresa, mismos que deben ser transmitidos al personal para que este, mediante sus habilidades brinde confianza y credibilidad a los clientes [14].

Justificando la relación entre la confiabilidad y la calidad del servicio de una empresa distribuidora de cerveza en la ciudad de Guayaquil, se utilizó una hipótesis y se probó mediante el coeficiente de correlación de Tau b de Kendall que el nivel de significancia fue

menor al 5%, el coeficiente de correlación fue de 0.477. Con estos resultados, se puede concluir que la influencia de la variable mencionada en la calidad del servicio es positiva y media, y se puede decir que actualmente la confiabilidad influye o tiene relación con la calidad del servicio de las empresas. La calidad del servicio no se considera un tema desconocido en las empresas, pues, los consumidores exigen mejoras en el trato o atención al momento de adquirir un producto o servicio, sobre todo exigen confiabilidad y por supuesto innovaciones; razón por la cual las organizaciones, se ven obligadas a ofrecer productos y servicios confiables a través de diferentes alternativas [9].

En vista de que la seguridad y confiabilidad son variables que se ha comparado, influyen en la calidad del servicio o tienen relación con la misma, se recomienda hacer investigaciones en las que se estudien otras variables como la comprensión al cliente que es de vital importancia para mejorar los estándares de calidad y la velocidad de respuesta que tiene una empresa para solucionar problemas, para determinar así, cómo afecta o qué efectos tienen dichas variables en la calidad del servicio y que consecuencias traen consigo en las organizaciones que no se interesan en las mismas.

REFERENCIAS

- [1] E. Avilés, "Enciclopedia del Ecuador", 2007. [En línea]. Available: <http://www.enciclopediadeecuador.com/historia-del-ecuador/cerveceria/>
- [2] D. Zambrano, "Desarrollo Económico Global," *Universidad Ecotec*, p. 8, 2013.
- [3] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, "Instituto Nacional de Estadísticas y Censos", 01 2017. [En línea]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-de-las-empresas/>.

- [4] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), “Guía para la aplicación de análisis del sistema de riesgos y control de puntos críticos”, *Series Agroalimentarias*, p. 52, 1999.
- [5] J. J. T. Guilló, *Calidad Total: Fuente de ventaja competitiva*, España: Publicaciones Universidad de Alicante, 2010.
- [6] V. C. P. Torres, *Calidad Total en la Atención al Cliente*, España: Ideas Propias Editorial, 2010.
- [7] T. Álvarez, “La calidad del servicio para la conquista del cliente”, p. 28, 1995.
- [8] P. Larrea, “Calidad de servicio: del marketing a la estrategia”, Bilbao: Díaz De Santos S.A, 1991.
- [9] M. E. Parra López, “Importancia de la calidad del servicio al cliente”, *El buzón de Pacioli*, p. 36, 2013.
- [10] J. Pérez, “Entorno Empresarial,” 01 09 2006. [En línea]. Available: <http://www.entorno-empresarial.com/articulo/456/la-confiabilidad-una-estrategia-competitiva-en-las-organizaciones-prestadoras-de-servicios>.
- [11] R. R. Álvarez, *Elaboración y validación de un cuestionario*, Melilla: Universidad de Granada, 2008.
- [12] R. Walpole, R. Myers, S. Myers y Keying Ye, *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, Pearson, 2012.
- [13] M. Badii, A. Guillén, L. Serrato y J. Aguilar, *Correlación no-paramétrica y su aplicación en la investigaciones científica*, México: Daena: International Journal of Good Conscience. 9(2)31-40, 2014.
- [14] D. Seto Paines, *De la calidad de servicio a la fidelidad del cliente*, Madrid: ESIC Editorial, 2004.
- [15] C. Nacional, *Memoria de sostenibilidad*, p. 84, 2014.
- [16] Cervecería Nacional, “Memoria de Sostenibilidad,” 2013. [En línea]. Available: http://www.cervecerianacional.ec/memoria/Memoria_sostenibilidad_2013.pdf.
- [17] I. Álvarez, *Introducción a la Calidad*, 2006.
- [18] R. P. Couso, *La comunicación y la calidad del servicio en la atención al cliente*, España: Ideas Propias, 2005.
- [19] A. I. B. Boubeta, Ana Isabel Bastos Boubeta, España: Ideas Propias, 2006.
- [20] E. V. Velazquez, *Canales De Distribución Y Logística*, Mexico: Red Tercer Milenio S.C., 2012.
- [21] R. H. Ballou, *Logística: administración de la cadena de suministro*, Mexico: Pearson - México; 5th. edition, 2011.
- [22] E. J. D. Oliva, “Revisión del concepto de calidad,” *INNOVAR*, p. 17, 2005.

Event-based predictive controller for the beam and ball system using a WNCS

Controlador predictivo basado en eventos para el sistema de viga-bola utilizando un WNCS

C. Pillajo¹, A. Bonilla², R. Hincapié³

Abstract: *Wireless Network Control Systems (WNCS) are spatially distributed systems where the communication between sensors, actuators and controllers occurs by means of a wireless digital communication network with limited capacity. This distributed architecture allows the system to adapt physically, in general allows to reduce the costs of installation due to the decrease of the wiring. Moreover, it makes possible to use a corporation intranet or the internet to get the different components of the control system connected, so that the elements of the wireless system can be placed far away from each other and to close the control loop through the net or the cloud, hence the realization of a wireless controller is proposed to reduce the transmissions through the sensor to the controller and from the controller to the actuator as much as possible, guarantying the dynamic behavior of the closed loop as well as the stability of the plant, for which we are going to develop and implement a PID controller based in events applied to a control system of a plant (Beam-Ball), in which predictive algorithms will be applied.*

Keywords: *control in network, anticipative control, event-based sampling, event-based control, wireless network control.*

Resumen: Los Sistemas de Control en Red Inalámbricos (WNCS, Wireless Network Control Systems), son sistemas espacialmente distribuidos donde la comunicación entre sensores, actuadores y controladores ocurre a través de una red de comunicación digital inalámbrica con capacidad limitada. Esta arquitectura distribuida permite que el sistema sea reconfigurable, en general permite reducir los costes de instalación debido a la disminución del cableado. Además, posibilita que se pueda recurrir a la intranet de una empresa o a internet para comunicar los diferentes componentes del sistema de control, de tal manera que los elementos del sistema inalámbrico pueden estar distantes entre sí y cerrar el lazo de control a través de la red o de la nube, por lo tanto se propone realizar un controlador inalámbrico que considere reducir las transmisiones a través del sensor al controlador y del controlador al actuador tanto como sea posible garantizando el comportamiento dinámico del lazo cerrado así como la estabilidad de la planta, para lo cual vamos a desarrollar e implementar un controlador PID basado en eventos aplicados a un sistema de control de una planta (Beam-Ball), en donde se aplicaran algoritmos predictivos.

Palabras clave: control anticipativo, control basado en eventos, control en red, control en red inalámbrica, muestreo basado en eventos.

-
- 1 Carlos Germán Pillajo Angos, Master en Ingenierías, Master en Business Administration, Ingeniero en Electrónica y Control, Docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, cpillajo@ups.edu.ec.
 - 2 Agustín Paul Bonilla Agualongo, Ingeniero en Electrónica mención Sistemas Industriales, Diseñador eléctrico Construlec Cia. Ltda., agustinrpm@live.com
 - 3 Roberto Carlos Hincapié, Phd en Ingenierías, Decano Escuela de Ingeniería, roberto.hincapie@upb.edu.co

1. INTRODUCTION

The design of cyber-physical systems (CPS) in general, and WNCS in particular requires the simultaneous attention of communication, computation and control aspects, together with the physical phenomena. When a Wireless communication is used, a special attention must be given to the critical resource of communication control, since this is both limited and shared with other devices [1], the control systems in a network, because of their own nature, present several problems [2]:

- • Changing delays: due to the fact that information is itself a set of packages travelling through the networks.
- • Disconnections: depending on the quality of service of the network and in wireless networks above all.
- • Limited band width: nowadays there are many devices that can use

the network, limiting the capability of transmission.

Traditionally, all the theories of modern and classic control focus on the study of dynamic systems interconnected through ideal communication channels. While the theory of communications study the transmission of information through imperfect channels, in which delays and information loss can be produced. Hence, a WNCS would be in the intersection of both theories [3].

The present work deals with the implementation of a predictive, event-based PID controller, applied for a Bean-Ball system, for which in section 2 the concepts of WNCS will be revised, in section 3 the Bean-Ball model in which the algorithms were implemented will be revised, and at the end, the results of different ways for event generation will be presented.

2. WIRELESS NETWORK CONTROL SYSTEMS

WNCS are currently in development and even more their implementations, due to this, algorithms are being generated to ensure control properties such as stability and performance, in presence of uncertain communications. Therefore, the combination of network control systems theory and wireless network control systems theory opens a very wide field of research.

Wireless Sensor Network (WSN) have shown satisfactory functioning in

applications such as monitoring and supervision, this can be attributed to their dynamics. In the meantime, related data such as real-time control applications have not yet taken off in their applications. This is why we must firstly have a better understanding of WNCS theory, which is related to understanding the properties of control, such as stability and performance, in correlation with the properties of the uncertain communication means. [4].

2.1 WNCS

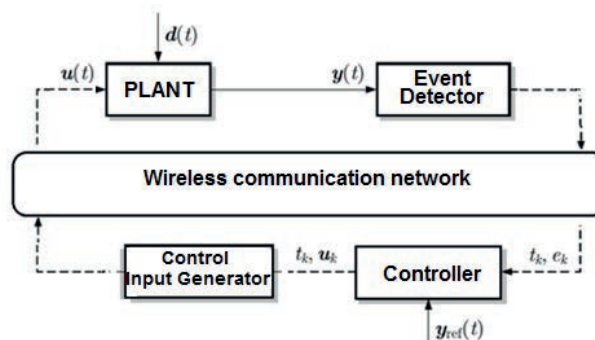
Wireless communications facilitate the extension of the application field of control systems to moving objects, as the measurement and control of variables can now be transmitted to the controller from almost anywhere in the plant. A definition of the term Wireless Network Control Systems (WNCS) is: control systems in closed loop that have to take into account the wireless network systems for data transmission, this definition comprises the following aspects: a) WNCS are characterized by being feedback control systems using wireless data networks. b) Data networks impose challenges that cannot be considered independently from the feedback control system. c) These networks (WNCS) are also not-proprietary.

In this context, wireless networks do not only reduce the maintenance and installation costs, but also they increase the availability and scalability of the system. Therefore, the necessity arises of new control strategies and analytic tools capable of facing the not-deterministic effects of networks.

2.2 Control through a communication network

It is well-known that the classic control theory is based upon the fact that the communication between sensors, actuators and controllers is ideal, which means that the data communicate among them and are computed with null or fixed delays, but due to physical limitations, any communication means induces a different from zero and non-periodical delay, to minimize the effects of the delays characteristic of communication networks, one can choose between two options: The first option is to implement a dedicated network. The second option is the development of the theory and usage of WNCS for being able to specify in which slower, cheaper conditions, the hardware can be used in a reliable way to guarantee a suitable behavior of the closed loop. Some works in which different control methods of control through communication networks are used are [5][6][7]. In Figure 1 the elements, which constitute a WNCS, can be seen.

Figure 1. Schematic diagram of a WNCS



The event detector determines the time instants t_k in which the next communication is invoked between the event detector, the controller and the control input generator, and the information that goes from the sensor to the controller.

The control input generator determines the signal $u(t)$ in a continuous way during the time interval $t \in [t_k, t_k + 1)$ in function of the information obtained in time t_k .

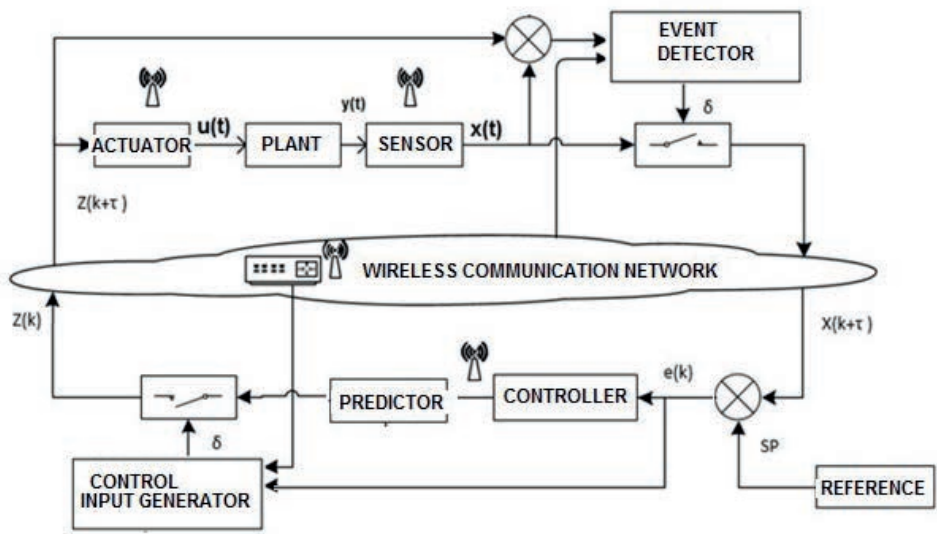
The usage of this kind of sampling strategies has received different names in the literature: constant amplitude difference criterion [8]; magnitude-based sampling [9], dead-band criterion [10], send-on-delta method [11], sampling by level crossing [12] and Lebesgue sampling [13].

2.3 Event-based control

In self-triggered event-based systems, the event detector calculates the time at which the next event is triggered, as well as the control input generator in which the state of the plant is estimated from a function that describes the behavior of the process.

This project focuses on the implementation of a PID controller based upon the sampling activated by events and, in particular, upon the levelled passing or the send-on-delta sampling, which consists in taking a new sampling whenever a change greater that a certain threshold δ is detected in the signal, as can be observed in Figure 2.

Figure 2. Structure of the WNSC system implemented



Therefore, a sampling error based on send-on-delta is applied to the con-

troller. Besides, the event detector includes a safety condition based on time

to ensure a maximum time interval between consecutive events h_{\max} .

In this way, a new value of the control signal is due to be computed when the elapsed time exceeds a limit given by h_{\max} . Formally, the event-based general state can be written as:

$$|x(t_{\text{act}}) - x(t_{\text{last}})| \geq \delta \text{ or } h_{\text{act}} \geq h_{\max}$$

The algorithm in the control input generator is executed only if the event is detected, saving computing resources if there is no necessity of updating the control variable, in this case we would be talking of an asynchronous PID, but if the time when an event occurs increases and the event detector does not

send information, the generator of the control input will have to estimate an output based on a predictor that obey the trend or the state function of the plant, by means of models of the plant based on the computations, new classes of event triggers, existing in the literature, are generated. [15]. To mitigate the unnecessary consumption of communication resources, it is interesting to consider an alternative control paradigm, namely the control activated by events, which is able to significantly reduce the number of executions of control tasks, while preserving a satisfactory efficiency in closed loop. This is shown by simulation and experimental results, for instance in [14], [16], [7] and [17].

3. THE MODEL OF THE BEAM AND BALL SYSTEM

The beam-ball system (BB) is a classic dynamic system that has been used to indicate control theories and to apply techniques. The importance of the BB system relies on the fact that this is a simple, non-linear and instable in open loop.

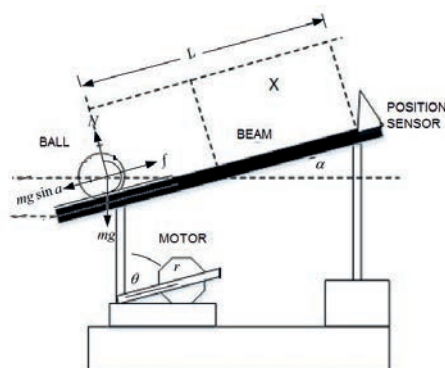
3.1 Methodology for the simulation and implementation

It is built and equipped with standard sensors, infrared sensors to measure the position of the ball; the servomotor actuator to position the beam, and the control unit. (Figure 3). To model

and identify the experimental prototype, two sub-systems are to be assumed:

a) The first sub-system consists of: the servomotor; the transmission system; the crank-crank system; and the beam. The input $l(s)$ is considered as the motor's PWM 'useful cycle; and the output $\Theta(s)$, the 'angle of the beam, in radians, with respect to the horizontal. We will refer to this system as engine system.

b) The second sub-system is simply the ball. The angle $\Theta(s)$ of the beam with respect to the horizontal is considered as the input; and the exit, the position of the ball in the beam $X(s)$. We will refer to this system as ball system.

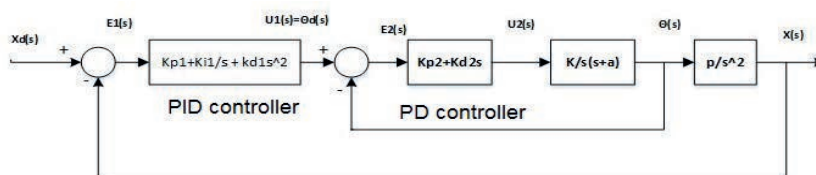
Figure 3. Diagram of the Beam-ball system

In which the transfer functions that define mathematically are [18]:

$$\frac{\theta(s)}{l(s)} = \frac{k}{s(s+a)} \quad \frac{X(s)}{\theta(s)} = \frac{\rho}{s^2}$$

According to the above equation, it can be confirmed that the system is

unstable in closed loop, this is due to the three system integrators. Because of this, the goal of designing a controller is precisely to achieve closed-loop stability. The following figure 4 shows the controller design in block diagram for the BB system.

Figure 4. Block diagram of the BB system implemented

3.2 Design of the PID predictive controller for the BB plant

The movement of the ball on the rail is influenced by several factors, the most important being the angle of the servomotor to which the rail is subjected and the weight of the ball. This is the central criterion to be able to perform an algorithm that helps us to calculate a future result, the controller has a direct action on the angle of the servo, that is, on the cause, allowing to intuit

the value of the effect, the distance of the ball on the lane. To perform the algorithm, PID requires data emitted by the wireless distance sensor, with these data entered in the algorithm in the control input generator, which will calculate and minimize the error to stabilize the system and issue a data to be sent to the actuator via Wi-Fi.

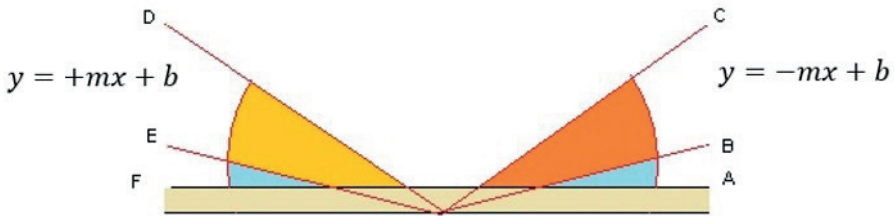
The last distance value given by the wireless sensor and the angle calculated by the PID controller are used as para-

meters to determine a prediction function, which is activated when there is no communication between the client and the server.

To predict the distance of the ball in the beam, the algorithm initializes a counter and is reset to zero every time it performs a data update, ie when there

is communication, the last value of the distance indicates a displacement so that the The linear function starts from the last real value. With these values we can determine the slope sign: [C, B] negative slope, [E, D] positive slope, [F, E] U [B, A] slope zero, as shown in figure N5, makes the prediction in function of the behavior of the ball in the beam.

Figure 5. Diagram of the behaviour of the system for the implementation of the predictive algorithm

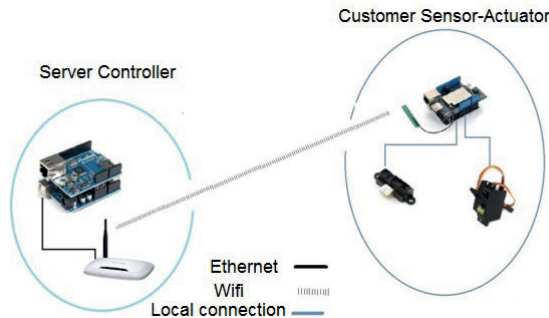


3.3 WNCS Architecture

The following are the devices that make up the WNCS: a) The client is confirmed by the plant (sensor-actuator), this node is implemented with an arduino Yun, which allows wireless communication. b) The server is made up of the controller, this remote node

was implemented with Arduino Ethernet, which is connected to a router and functions as a server in the network. Each device within the network has a unique IP address that serves as an identification parameter. The server has a fixed address, different from the client that has a dynamic address given by the router.

Figure 6. Devices used in the implementation of the WNCS



Server-controller.- The IP address of the server is fixed, Arduino Ethernet allows to configure from its internal programming the IP and MAC addresses, that we want to use within the network.

Client-plant.- The Arduino Yun combines the power of Linux with the Arduino feature. One of the most interesting features is that it supports wired and wireless Ethernet network. The client of the network is the plant where

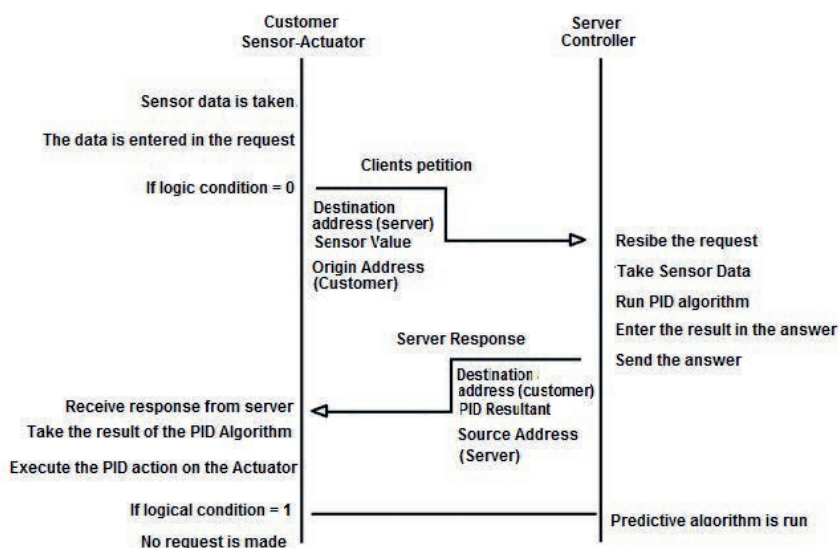
the sensor and actuator are, which receive information in real time.

To configure the Arduino Yun as a client, two previously configured libraries are required: `HttpClient.h`, which is used to configure the device as a client on the network, `Bridge.h`, To configure the small ATmega32U4 with the Linux system.

3.4 Client-server communication

Client and server communication is shown in Figure 7.

Figure 7. Diagram of communication between client and server



4. THE PID EVENT-BASED CONTROLLER

4.1 Asynchronous PID predictive algorithm

Call libraries for communication, LCD
Address to the server and the HTTP port
Variable definition
Sub-routine set up and pin assignment
Start

Server available for reading
If client activates petition
Activate flag
While client is connected
If client is available
Read client characters
If there is a line break and active flag

```

Resets variables counter
Compares character string
Variable distancepid from string to float
    Call pid_events () sub-routine
    Start writing message to client
Break
    Restore flag for communication client
Clear variables
Call Prediction() sub-routine
Delay of 1 ms as time base
Increase dt; counter;
Limit entries dt,
End

```

4.1.1 Sub-routine Prediction

```

If counter and flag are enabled
If the output is within range
    False distance = -m * x + b; (m = 0.25, x =
    increase_f, b = distance_pid)
If the output is within the lower range
    False distance = + m * x + b; (m = 0.25, x =
    increase_f, b = distance_pid)
If the output is within the middle range
    distance_falsa = distance_pid
    Call subroutine pid_events ()
    Increase increase_f
    If increase_f greater than limit reset

```

4.1.2 Sub-routine pid_events

1. Compute error with variable false_distance
2. Assign proportional variable
3. Compute integral variable with time value dt
4. Compute derivative variable
5. Compute pid
6. Limit pid functioning range
7. Re-assign (map) pid values to angle values to send in variable output.

4.2 Client sensor-actuator, activation conditions

When working with the client-server architecture the client is the one who has the control of the communication medium, when making a request the server will respond immediately, otherwise in the absence of this request the communications will stop. The condition allows the requests to be made or not to the server.

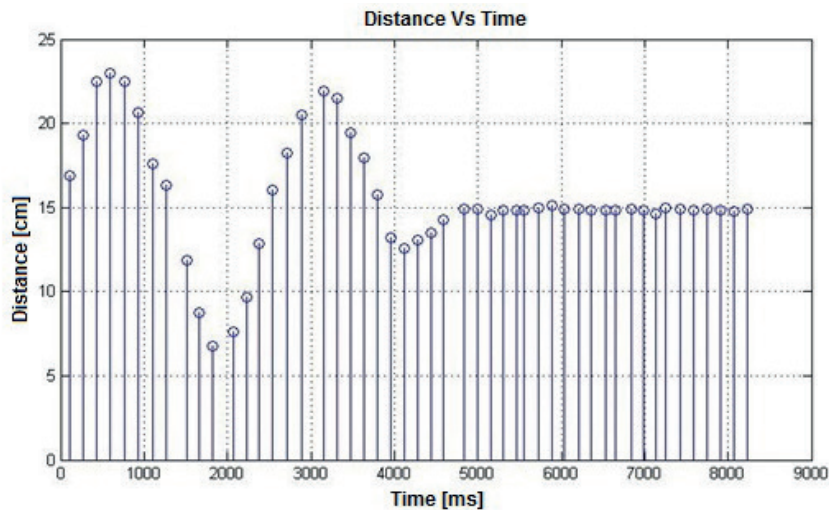
Then the different conditions applied in the client are analyzed, it is possible to emphasize that for the control based on events the asynchronous PID controller was used, in order to observe the functionality of the system with the characteristic delays of the network. The different limits and variations of the conditions of the events were taken observing that they fulfill the requirements of system equilibrium.

4.2.1 Condition temporised work interval

In Figure N8, the controller's response to the variable distance of the ball x is observed when a working band is established to activate the logic condition when the ball is in a range close to the set point. A counter is activated when it is within the band, when it reaches a defined limit, it will stop making requests.

$$|x(t_{act}) - x(t_{last})| \geq \Delta \quad o \quad T \leq T_{max}$$

Figure 8. Asynchronous PID with temporised work interval



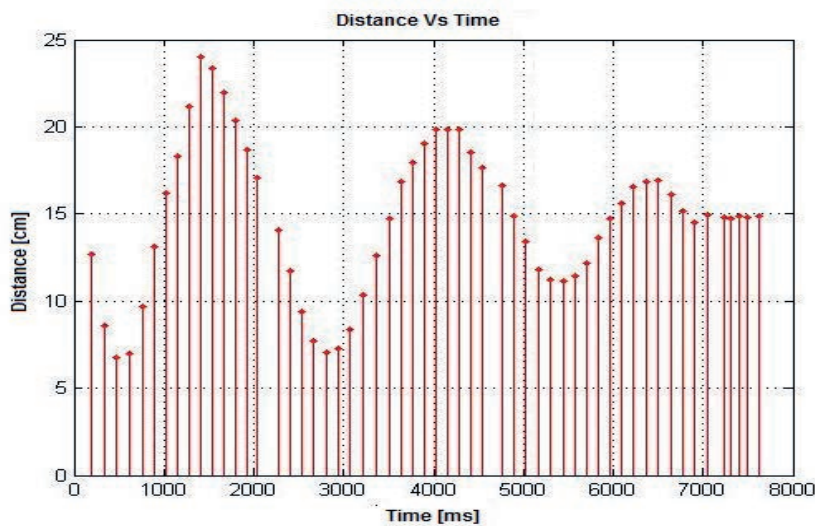
4.2.2 Condition of variation of the measured variable

Figure 9 shows the response of the PID controller, which tends to balance the system, it is observed that the oscillations of the system tend to a smaller

magnitude in time. The exchange rate $y(t)$ between the value of the currently measured variable $y(t)$ and the previous $y(t_{last})$ has a value that is lower when it approaches the set_point.

$$|y(t)-y(t_{last})| \geq \Delta$$

Figure 9. Asynchronous PID with variation of the variable

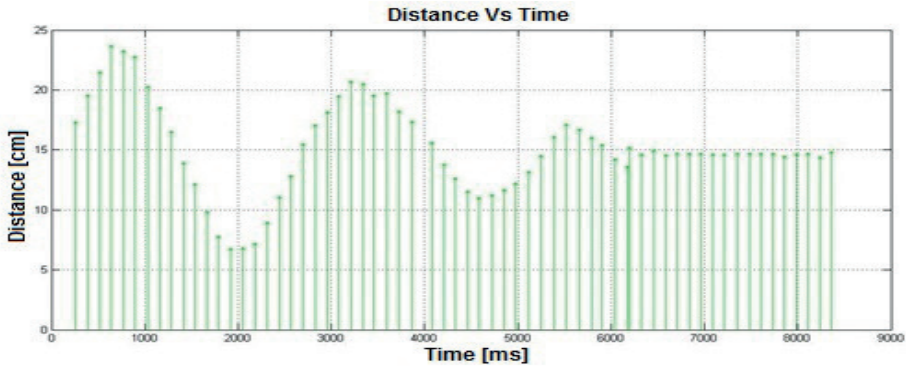


4.2.3 Condition of accumulation of the error

Figure N10 shows the response of the PID when it is considered that the triggering of the communication is the error in which it activates or deactivates the event, it makes sense to think that

when the system tends to equilibrate, the value of the error gradually decreases. By having an oscillating system the error will increase and decrease constantly, it is for this situation that the integral of the error only works in a working band. $\sum e(t) > \Delta$

Figure 10. Asynchronous PID with criterion of error accumulation

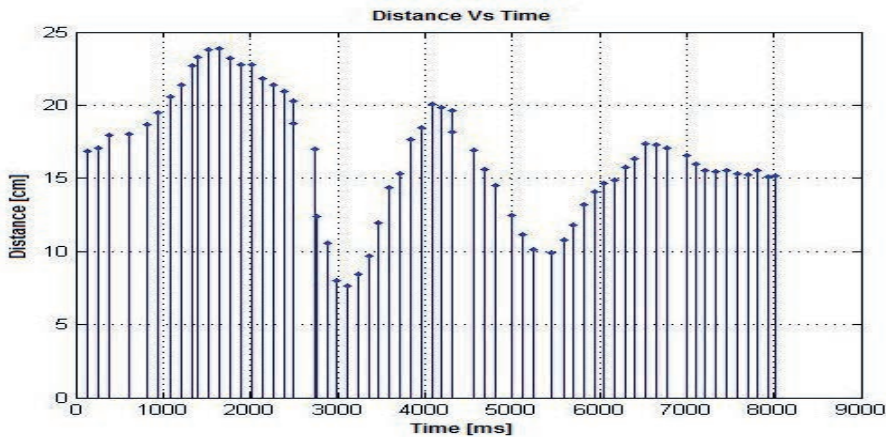


4.2.4 Condition of accumulation of the squared error

In Figure N11 the PID response is observed when the event activation

condition is given by the error square, different from the last condition. When the variation of this parameter exceeds a certain value, the plant will stop requests to the server. $\sum e^2(t) > \Delta$.

Figure 11. Asynchronous PID with criterion of error accumulation squared



4.3 Definition of the best condition for the event of the system

One of the great advantages of event-based control is sparing resources of the system. Not only does the event trigger the communication between plant and controller, it also stops the computations or algorithms that are not necessary when the system has reached

the equilibrium. To restore which condition is the best, it is necessary to observe when the system reached stability.

The stability time is changing, but this does not depend on the conditions of the events, this is due to the random nature of the sampling time and this is the criterion to determine which is the best option to the activation of the event.

Table 1. Results of Asynchronous PID Algorithms

PID algorithms	Up time	Stabilization time	Delay		
	Tsub	Test	Max.	Min.	Mean
Asynchronous with timed work interval	2385	4836	253	91	165
Asynchronous with variation of the measured variable	889	3504	223	117	139
Asynchronous with error accumulation	2567	6195	259	18	131
Asynchronous with error accumulation squared	3599	6178	220	21	125

5. CONCLUSIONS

We have analysed the components of the implementation of an event-based controller from the point of view of the software and the event-based sampling schemes used. In addition, we have made an application in the field of new network control systems

In the present work algorithms have been implemented for PID control strategies based on events and pseudo-code has been described to implement different ways to produce the activation of the event generator. Based on models for communication from the sensor to

the controller and from the controller to the actuator. The results apply to discrete linear plants that do not require the full state available for feedback.

Actually, as it occurs in the practical applications of the event-based approaches, this controller is a hybrid approach between a continuous time and an event-based one.

As a future work, we recommend to upload the controller to the cloud, with which the resources would be optimised and a CaaS could be defined, this is, the Control as a Service in the cloud.

REFERENCES

- [1] M. Guinaldo, J. J. Sánchez y S. Dormido, "Diseño de un Sistema de Control Anticipativo Basado en Paquetes para Control en Red". *Proc. Ninth Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática*, 2010.
- [2] F.-L. Lian, J. Moyne y D. Tilbury, "Network design consideration for distributed control systems", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 10, n° 2, pp. 297-307, March 2002.
- [3] J. P. Hespanha, P. Naghshtabrizi y Y. Xu, "A survey of recent results in networked control systems", *Proceedings-IEEE*, vol. 95, n° 1, p. 138, 2007.
- [4] L. M. Feeney y M. Nilsson, "Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment," de INFOCOM 2001. *Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, 2001.
- [5] Y. B. Zhao, G. P. Liu y D. Rees, "Design of a Packet-Based Control Framework for Networked Control Systems", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 17, n° 4, pp. 859-865, July 2009.
- [6] C. Robinson, G. Baliga y P. Kumar, "Design patterns for robust and evolvable networked control", *Conference on Systems Engineering Research*, 2005.
- [7] F.-L. Lian, J. R. Moyne y D. M. Tilbury, "Performance evaluation of control networks: Ethernet, ControlNet, and DeviceNet", *Control Systems, IEEE*, vol. 21, n° 1, pp. 66-83, 2001.
- [8] J. Mitchell y W. McDaniel, "Adaptive sampling technique", *Automatic Control, IEEE Transactions on*, vol. 14, n° 2, pp. 200-201, 1969.
- [9] M. Miskowicz, "The event-triggered sampling optimization criterion for distributed networked monitoring and control systems", *Industrial Technology, 2003 IEEE International Conference on*, 2003.
- [10] P. G. Otanez, J. R. Moyne y D. M. Tilbury, "Using deadbands to reduce communication in networked control systems", de American Control Conference, 2002. *Proceedings of the 2002*,
- [11] M. Miskowicz, "Send-on-delta concept: an event-based data reporting strategy," *Sensors*, vol. 6, n° 1, pp. 49-63, 2006.
- [12] N. Sayiner, H. V. Sorensen y T. R. Viswanathan, "A level-crossing sampling scheme for A/D conversion," *Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 43, n° 4, pp. 335-339, 1996.
- [13] K. J. Astrom y B. Bernhardsson, "Comparison of Riemann and Lebesgue sampling for first order stochastic systems", *Proceedings of the 41st IEEE Conference on Decision and Control*, 2002, 2002.
- [14] W. Heemels, M. Donkers y A. R. Teel, "Periodic event-triggered control for linear systems," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 58, n° 4, pp. 847-861, 2013.
- [15] K.-E. Arzen, "A simple event-based PID controller", *14th IFAC world congress*, 1999.
- [16] T. Henningsson y A. Cervin, "Comparison of LTI and event-based control for a moving cart with quantized position measurements", *Control Conference (ECC), 2009 European*, 2009.
- [17] J. K. Yook, D. M. Tilbury y N. R. Soparkar, "Trading computation for bandwidth: reducing communication in distributed control systems using state estimators", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 10, n° 4, pp. 503-518, Jul, 2002.
- [18] D. L. M. Lizarazo and J. A. T. Borja, "Control de un ball & beam con matlab y lego nxt", *Visión Electrónica algo más que un estado sólido*, vol. 8, no. 2, pp. 39-48, 2015.

Implementation of an energy management system using a Raspberry Pi 3, considering the guidelines of the standard ISO 50001 applied to domestic loads

Implementación de un sistema de administración energética mediante Raspberry Pi 3, bajo las condiciones de la norma ISO 50001 aplicado a cargas domésticas

A. Román¹, C. Reyes-López²

Abstract: *Nowadays, each time are more conscious users about the benefits carried by the energetic saving and the conservation of energetics sources and naturals resources. In this context, this development and research project purposed the creation of an electronic system able to manage the energetic consumption at residential level. The device was composed by an Arduino UNO card and a Raspberry Pi 3, moreover of various sensors and actuators. This device will serve like a tool able to allow the user, locally or remotely, take an efficient control of electrics loads at home allowing electricity saving and, thus, economic saving. The results showed that can be monitored easily the electric loads of a property, allowing to reach a consumption saving among 10% to 15%.*

Keywords: *residential energetic managing, energetic saving, remote monitoring, smart device.*

Resumen: Cada vez son más los usuarios conscientes de los beneficios acarreados por el ahorro energético y la conservación de las fuentes energéticas y recursos naturales. En este contexto, se propone la creación de un dispositivo electrónico capaz de administrar el consumo energético a nivel residencial. El sistema consta de microordenadores, además de diversos sensores y actuadores, convirtiéndose en una herramienta capaz de permitir al usuario controlar eficientemente las cargas eléctricas en el hogar, de manera local y remota, permitiendo ahorro de electricidad, y por ende, ahorro económico. Los resultados demuestran un alto desempeño del dispositivo que incluye un fácil manejo de la interfaz gráfica y el monitoreo preciso de las cargas eléctricas de un predio, llegando a alcanzar un ahorro de consumo de entre el 10% al 15%.

Palabras clave: administración energética residencial, ahorro energético, monitoreo remoto, dispositivo inteligente.

-
- 1 Abel Román Párraga, Estudiante de Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador, aroman@est.ups.edu.ec
 - 2 Christopher Reyes López, Coordinador Grupo SMART-TECH, Docente de Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador, creyesl@ups.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica mediante recursos no renovables está causando un daño irreparable al planeta, mediante la extenuación de los mismos y aportando a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Esto ha llevado a la búsqueda y el desarrollo de nuevos métodos de generación que utilicen fuentes alternativas y de naturaleza renovable, conocidas como la mejor opción para el desarrollo sostenible; en especial en América del Sur, debido a sus recursos naturales, estabilidad económica y regulación energética [[HYPERLINK \l "Sha16" 1](#)].

Además, esta situación ha introducido la necesidad económica y ambiental de conservar la energía y utilizarla de manera eficiente. Se estima que si en los próximos 25 años se incrementa la demanda mundial de energía en un 50%, como ha sido estimado, y se mantiene una dependencia del 80% de fuentes no renovables, resultará incompatible evitar el uso de recursos fósiles y reducir la producción de GEI [2].

Esto ha contribuido para concientizar la utilización eficiente de los recursos naturales y alentar la generación limpia para los años venideros [[HYPERLINK \l "Lat" 3](#)].

El desperdicio energético a causa de tendencias personales o pérdidas a nivel de distribución se lo relaciona directamente con la generación de la energía, provocando de esta manera que las emanaciones de GEI continúen aumen-

tando por el uso mayoritario de componentes fósiles en centrales eléctricas.

El consumo energético a nivel nacional está delimitado por tres sectores claves, entre los cuales, destaca el sector residencial con un consumo del 32%, colocándolo por encima del industrial con 24% y del comercial con 17% [4].

A pesar de su consumo mayoritario, las medidas tomadas a nivel nacional se enfocan hacia el sector industrial, basándose en la gestión de energía dictada por la norma ISO 50001. Esta destaca el uso de dispositivos inteligentes para poder disminuir el consumo optimizando recursos sin modificar el confort [[HYPERLINK \l "Org11" 5](#)].

Las edificaciones poseen dos tercios del consumo energético a nivel mundial, por esto, el monitoreo en tiempo real, usando internet, es una de las herramientas para administrar el consumo de energía y optimizar su desempeño [6].

De este modo, la operación de un sistema de gestión energética a nivel residencial permite supervisar, regular y controlar la energía que llega al predio. Asimismo facilita la eficiencia energética, en vías de mejorar las tendencias deterioradoras y brinda al usuario un registro diario de su consumo para conocer el comportamiento de las cargas instaladas.

Desde la perspectiva del usuario, su beneficio es un ahorro económico apreciado en el consumo eficiente de ener-

gía, eliminando las pérdidas fantasmas. Figuradas en el modo de espera de los electrodomésticos, los cuales al poseer un transformador implica el uso de electricidad el 100% del tiempo, incluso si el equipo está apagado. Se estima que las pérdidas de un artefacto son de cinco vatios, pero existen grandes variaciones de acuerdo al dispositivo. Tal desperdicio de energía representa alrededor de \$20 a \$40 anuales [[HYPERLINK \l "Arr16" 7](#)]. Se estableció un horario de habitabilidad fijado a las 05:30 horas como inicio de actividades y la 01:00 horas como final de las mismas, los cuales fueron fijados según una encuesta interna realizada por el autor, dirigida hacia alumnos de la asignatura de Probabilidad y Estadística de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Aprender de las preferencias del usuario en diferentes objetivos, permite alta efectividad en predicciones de confort, costos energéticos, impactos ambientales y disponibilidad de red [8].

La empresa suministradora consigue beneficios al disminuir su generación, conllevando a la reducción y optimización de recursos no renovables [[HYPERLINK \l "Veg14" 9](#)], además de aportar a la eficiencia energética nacional.

La eficiencia energética a nivel residencial está siendo abordada en el plano nacional, mediante proyectos basados en la sustitución de artefactos ineficientes [10]. El reemplazo de lámparas incandescentes por luces compactas fluorescentes (CFL) permite ahorros significativos en demandas picos a nivel nacional [[HYPERLINK \l "Gya17"](#)

11]. Los sistemas de cocción eficientes en conjunto, a través de la práctica, representarán una solución eco-amigable para limitar el impacto ambiental [12]. Los proyectos de eficiencia en el sector residencial han sido acogidos debidamente por el usuario y aplicados en el ámbito nacional, siguiendo las directrices del objetivo 11 inciso D, correspondientes al Plan Nacional del Buen Vivir, indicando "Incentivar el uso eficiente y el ahorro de energía, sin afectar la cobertura y calidad de sus productos y servicios" [[HYPERLINK \l "SEC13" 13](#)].

Ecuador, al ser responsable del 0.15% de emisiones mundiales, es parte del grupo de países que conforman el Acuerdo de París, ente regulador encargado de reducirlas por debajo de los 2 °C [14].

Por otro lado, el incremento de participación por parte de las energías renovables permitirá reducir la generación termoeléctrica como medio para alcanzar la producción sostenible del país [[HYPERLINK \l "Edo16" 15](#)]. La explotación renovable no presentará mayores problemas en el ecosistema ecuatoriano, dando lugar a la extenuación de sus recursos para generar energía, promoviendo así las plazas de trabajo en el sector industrial energético (Renovable, 2017).

La utilización de dispositivos inteligentes en actividades cotidianas a través de la interacción con el usuario le proporciona adaptarse a nuevas tecnologías, encontradas con facilidad en el plano mundial y nacional.

La domótica, con sus automatizaciones a nivel residencial, comercial e

industrial lleva de la mano a la nueva tendencia conocida como el Internet de las cosas (IoT). La cual consiste en la integración de sensores y actuadores, permitiendo recopilar información y enviarla a su unidad de almacenamiento y proceso CITATION ATi16 \l 1034 [HYPERLINK \l "ATi16" 17].

El estudio se lo realizó para determinar cómo afecta el desperdicio de energía al medio ambiente y así poder desarrollar un sistema que lo administre, alcanzando así la eficiencia energética, la cual consiste en reducir índices de consumo, sin modificar el confort y optimizando recursos CITATION Car12 \l 1034 [HYPERLINK \l "Car12" 18].

La actualidad de su implementación, importancia a nivel mundial y nacional, diversos campos de aplicación y su relación directa con el cambio climático existente, han marcado la popularidad del término "eficiencia energética". Mediante varios estudios se nombra su

vital participación en las estrategias de sostenibilidad de varios países, en normas internacionales y acuerdos reguladores de contaminación.

Se analiza el ámbito nacional bajo índices de consumo y generación; además de su popularidad en propuestas políticas e inclusión en el cambio de la matriz productiva.

La eficiencia energética y nexos de administración energética determinan la posibilidad de regular la capacidad de producción que fácilmente puede operar con un mínimo consumo de electricidad por unidad de producción CITATION Blu16 \l 1034 [HYPERLINK \l "Blu16" 19].

Este trabajo se lo presenta avanzando de lo general a lo específico, siguiendo con la metodología de trabajo y los materiales utilizados, continuando con los resultados adquiridos y concluyendo de manera discursiva el cumplimiento del objetivo principal del proyecto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se fundamenta en la investigación experimental, porque promueve el objetivo del proyecto mediante el análisis de pruebas y resultados, con la finalidad de alcanzar una correcta administración y por lo tanto, conseguir el ahorro energético esperado.

El sistema diseñado en este proyecto destaca al Raspberry Pi como elemento principal, donde se desarrolla una interfaz gráfica de interacción con el usuario, mostrando datos de consumo en

tiempo real adquiridos por sensores de corriente y de voltaje, efectuados en la tarjeta Arduino UNO.

Además de contar con actuadores accionados mediante la interfaz, el sistema logra la administración energética a través del monitoreo, control y regulación de cargas.

Para el desarrollo del sistema se utilizó una Raspberry Pi 3 Modelo B+ que funciona como unidad central de proce-

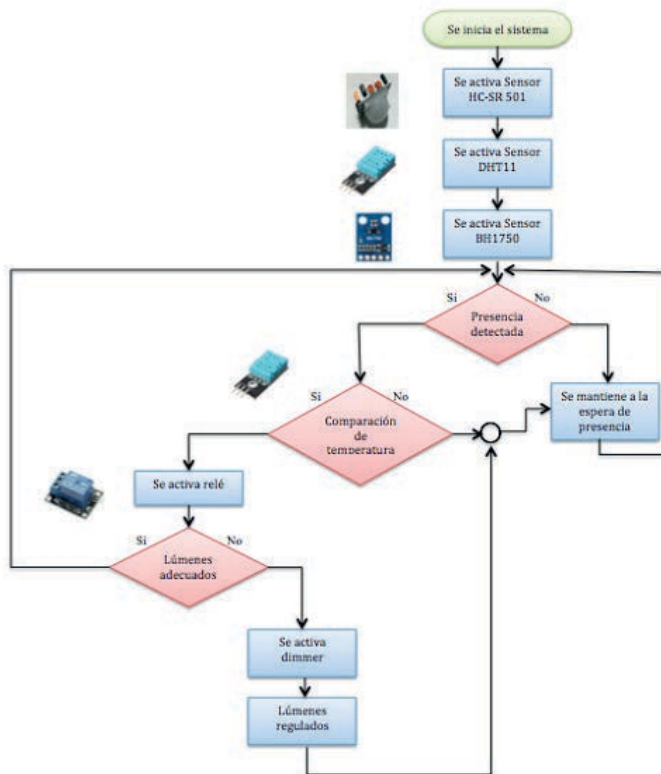
so, contando con comunicación a la red vía Ethernet o WiFi. Además permite la interacción entre sensores y actuadores implementados y el desarrollo de programas en lenguaje Python.

La interfaz principal para la interacción del usuario fue desarrollada como algoritmo en Python, permitiendo visualizar datos en tiempo real, control y estado de las cargas, histograma de consumo y aproximaciones en valores de consumo, cada uno en su propia ventana.

Para la regulación de las cargas se usa el concepto de domótica, enfocado

en la ocupación del entorno, por lo que se usan sensores de presencia infrarrojos pasivos conocidos en el mercado como HC-SR501, los cuales al ser calibrados correctamente en sus potenciómetros detectarán hasta un rango de 6 metros y un alcance de 120° gracias a su lente Fresnel. Este trabaja en conjunto con el sensor de temperatura y humedad DHT11 y el sensor de lúmenes BH1750, formando así un lazo cerrado de detección de presencia detallado en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama de flujo del funcionamiento de sensores



La verificación de presencia por parte del HC-SR501 dará paso al sensor de DHT11, tomando en cuenta la radiación infrarroja del cuerpo humano diferenciada por las temperaturas exterior e interior, obteniendo un valor que si sobrepasa los 3°C activará el relé de contactos al tener la aprobación de ambos sensores, permitiendo la activación o desactivación de cargas lumínicas como los focos.

Posterior a esto entra en funcionamiento el sensor de lúmenes, midiendo la capacidad lumínica y regulándola mediante un dimmer, ajustándose a las necesidades por realizar.

Aproximadamente del 100% del consumo energético de las bombillas fluorescentes un 80% es perdido por emisiones de calor, el 15% son emisiones de rayos ultravioletas e infrarrojos, dejando solo un 5% del consumo total sea de luz real CITATION MGr14 \l 1034 [[HYPERLINK \l "MGr14" 20](#)].

La Raspberry Pi, no cuenta con entradas de señales analógicas, por esto,

es necesario emplear un conversor de señales analógicas a digitales.

La tarjeta Arduino UNO, consta con dichas entradas, presenta un ambiente de programación amigable y sobre todo compatible con la conexión y sistema operativo de la Raspberry Pi.

La tarjeta Arduino contiene dos conjuntos de circuitos representados en la Figura 2. Los circuitos actúan como filtros en el caso de los sensores de corriente SCT 013-030 o como acondicionadores de señal en el caso de la lectura del voltaje, el cual necesita de varias etapas, tales como transformación de voltaje de entrada para no afectar el funcionamiento de la tarjeta Arduino al sobrepasar sus 15VCC (Voltaje Continuo), conversión de voltaje alterno a continuo para el correcto funcionamiento de los elementos, regulación de voltaje a 5VCC como seguridad al alimentar la tarjeta y circuito para el voltímetro que recibirá las señales y suministrará las entradas analógicas del Arduino.

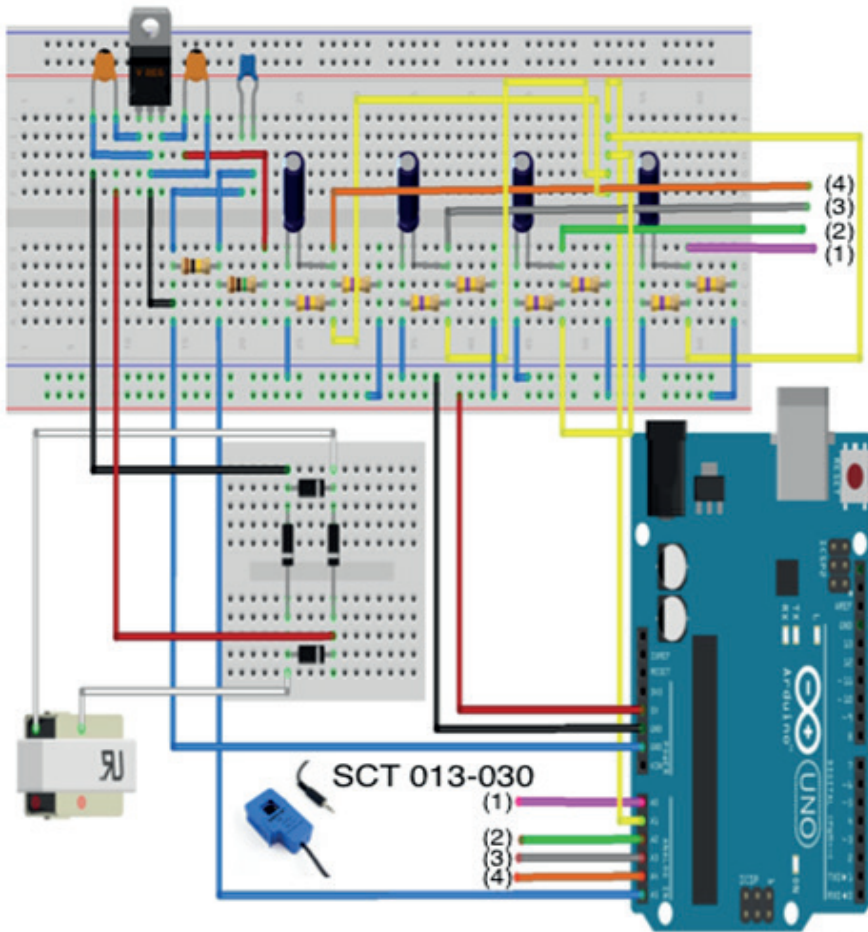
3. RESULTADOS

El sistema muestra valores de consumo en tiempo real, usando a los vatios por segundo como unidad obtenida mediante los valores adquiridos de corriente y voltaje relacionados con el tiempo de su medición. Se mantiene dicha unidad puesto que el usuario está familiarizado con dicha expresión de medida. En la Figura 3 se muestra la interfaz gráfica del monitoreo en tiempo real, indicando el estado de cada carga

para así poder determinar si el valor mostrado es correcto. La disposición de esta ventana es explícitamente para monitoreo, existen casillas de activación pero no podrán ser manipuladas desde esta interfaz. Solo se podrán actualizar datos de acuerdo a su supervisión.

Al ser indicado el consumo queda como incógnita la manera de disminuirlo y para esto fue desarrollada la interfaz de control mostrada en la Figura 4.

Figura 2. Diagrama de conexión para circuitos del voltímetro y amperímetros



Fuente: Autores

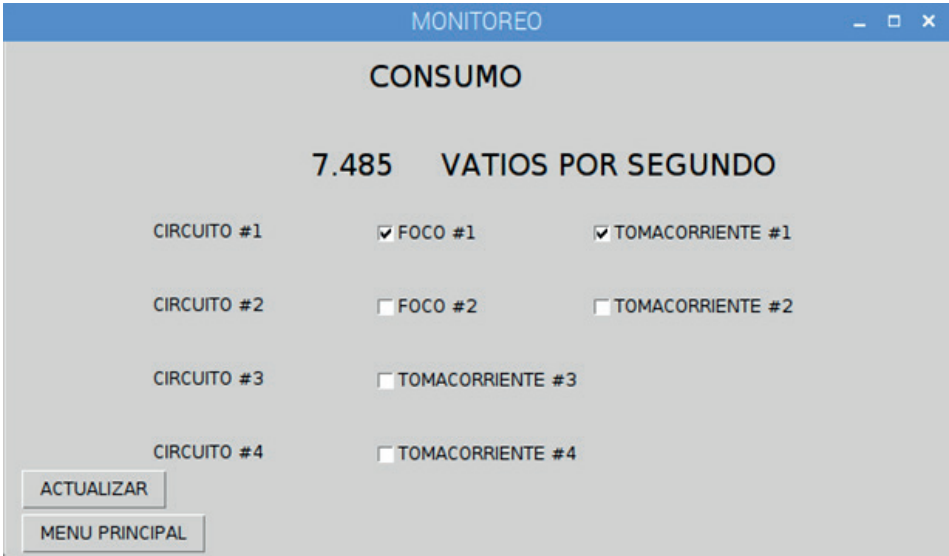
Dentro de esta, se activan y desactivan las cargas controladas mediante la selección del casillero correspondiente. Vale resaltar que al momento de seleccionar cada casilla y presionar el botón “Actualizar”, ubicado en la parte inferior izquierda de cada ventana, sus valores serán restaurados y solo podrán ser modificados en la interfaz de control.

La interacción con el usuario se la realiza directamente, cada interfaz es

totalmente didáctica y puede ser manejada a su elección. El desconocimiento del consumo a nivel diario incide en su aumento mensual.

Al momento de la adquisición de datos se crea un histograma Potencia Vs Tiempo, indicando en qué momento del día fueron provistos los picos de consumo para poder disminuirlos.

Figura 3. Interfaz de monitoreo de cargas



Fuente: Autores

Figura 4. Interfaz de control de cargas



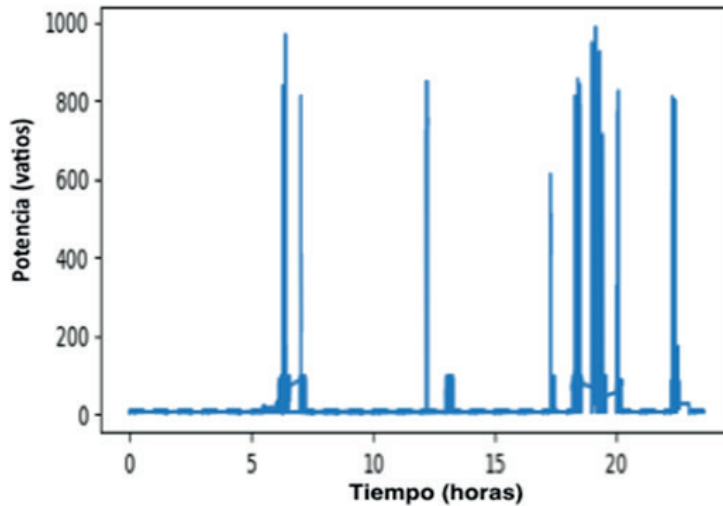
Fuente: Autores

Las gráficas fueron obtenidas mediante una simulación de cargas representadas con televisores, secadoras, tostadoras, licuadoras, etc. Ejecutadas a nivel residencial e implementas en el “Banco de pruebas para instalaciones

civiles” ubicado en el laboratorio de instalaciones eléctricas de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, representando el funcionamiento de un predio. Las gráficas son mostradas

como en la Figura 5 y van a ser guardadas en el escritorio del Raspberry Pi, bajo el nombre del día seguido por el mes, para identificar lo consumido.

Figura 5. Interfaz de datos históricos de cargas



Fuente: Autores

Referente al consumo, se explica el valor consumido por horas, conociendo que el valor del kWh actual es de 0.09 centavos, se escalaron valores calculados en vatios por segundo para luego expresarlos en Kilovatios hora.

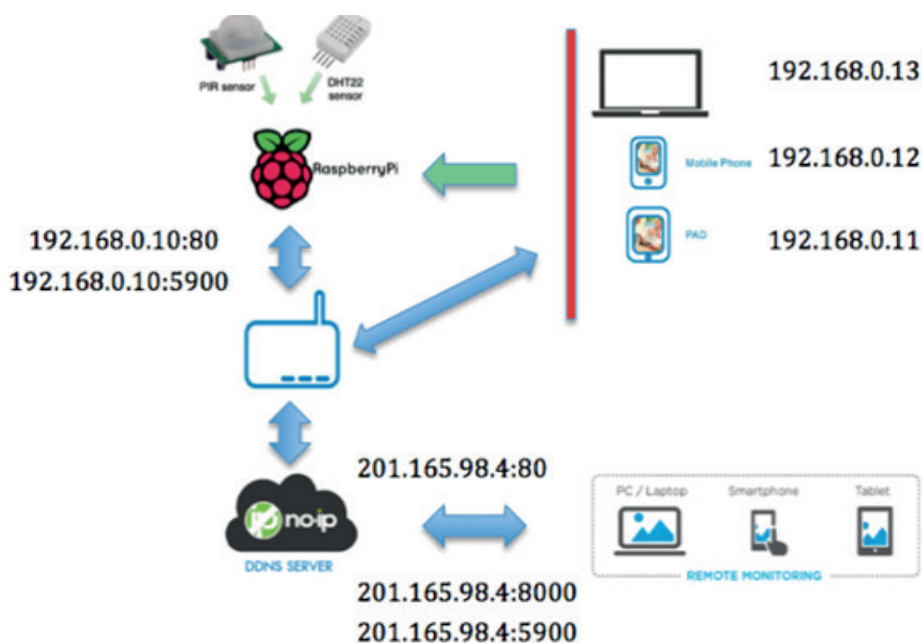
El sistema toma mayor importancia al desempeñarse vía remota, mediante la configuración del dispositivo y la del módem suministrador de internet.

La apertura de puertos de comunicación para el enlace y la aplicación de

escritorio remoto, aprovechan todas las funciones del proyecto. La interacción con el usuario mediante internet permite mejorar la eficiencia y cambiar hábitos de consumo CITATION Fan17 \l 1034 [HYPERLINK \l "Fan17" 21].

La arquitectura de comunicación es mostrada en la Figura 6, señalando el uso obligatorio de un host dinámico como sistema de dominios. Este se conectará mediante el puerto 8000 habilitado en el modem, para comunicar al sistema de forma remota.

Figura 6. Arquitectura de comunicación



Fuente: Autores

La arquitectura de comunicación sin cables ha sido introducida para incrementar rapidez y flexibilidad en el flu-

jo de datos entre todos los componente del sistema CITATION Elk16 \l 1034 [HYPERLINK \l "Elk16" 22].

4. DISCUSIÓN

De manera general, la administración a nivel residencial se tomó como punto sobresaliente de la investigación, el cual se llevó a cabo mediante el Raspberry Pi 3 y el Arduino UNO.

El sistema prototipo sirvió como herramienta para evitar los malos hábitos de consumo del usuario, notando la reducción en su consumo mensual. Se llega a la eficiencia energética al consumir menos energía en el predio sin cambiar las tareas cotidianas que se realizan, lo cual ha efectuado el prototipo en su to-

talidad mediante el monitoreo, control y regulación de cargas.

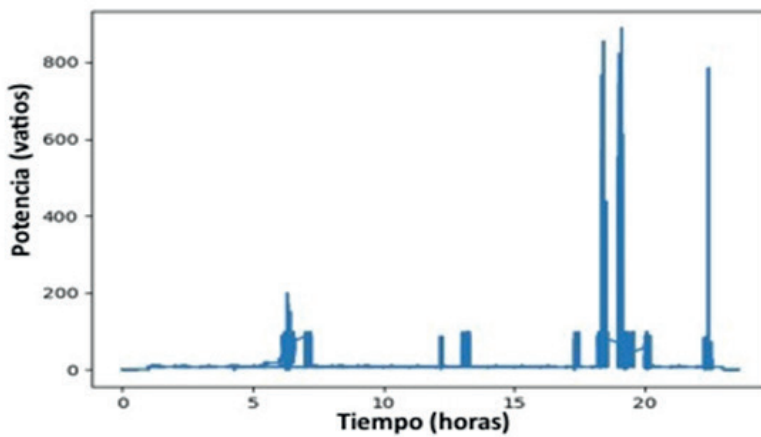
La Figura 5 y 7 muestran un comportamiento del sistema no implementado e implementado en el predio respectivamente, destacando las horas pico en ambas gráficas.

La Figura 5 demuestra un aumento del consumo energético en el momento que el usuario permanece en el predio, específicamente al inicio de sus actividades (05:00 horas) y al retornar de sus

labores (18:00 horas), donde el uso de energía incrementa debido a la totalidad de habitantes en el predio, cantidad de luminarias encendidas y artefactos conectados y en funcionamiento; además de la utilización de artefactos ineficientes, como por ejemplo refrigeradoras y acondicionadores de aire, pues debido

a su anticuada fabricación carente de reguladores de eficiencia permiten el incremento del consumo. Se logra apreciar el consumo fantasma detallado en horas que finalizan las actividades del usuario (01:00 horas) sumándose a la lista de factores que influyen en el consumo elevado del usuario.

Figura 7. Análisis de cargas implementando el sistema



Fuente: Autores

Como comparación se acoge la Figura 7, donde se ha implementado el sistema, en la cual la disminución tanto del ancho como del alto de la gráfica ha variado, representados por su consumo a través del tiempo mostrado en horas contra potencia respectivamente. En la implementación del sistema se aprovechó las oportunidades de la administración de manera técnica y económica, identificando pérdidas, administrando cargas, localizando y reemplazando artefactos ineficientes; además de fijar horas picos y horas de finalización de actividades para administrar el consumo en dichos lapsos de tiempo. Aplicando

la correcta administración de sus cargas basados en sus tipos de artefactos y momentos de uso, la implementación del sistema permitió lograr la eficiencia del usuario sin modificar su confort, ya que no se eliminó ningún tipo de actividad a realizar para el usuario u obligando al usuario a efectuar cualquier tipo de maniobra para administrar su consumo. Contrastando las gráficas 5 y 7 se concluye que el ahorro energético fue logrado en un 10% marcado por la disminución del dispendio energético, asimismo la utilización de este sistema a mayor escala causará un impacto tanto económico como ambiental, de manera

que los usuarios pagarán menos por su servicio eléctrico, debido a la reducción del consumo y esto conllevará a disminuir la generación optimizando recursos y favoreciendo con la disminución de GEI.

Tomando en cuenta las directrices del sistema como administrador energético, concierne como soporte de los proyectos en busca de la eficiencia energética nacional. Se mantuvo el uso

de cargas, pero sin el derroche presentado recurrentemente; además de la interacción remota por parte del usuario y la familiarización con nuevas tecnologías. La obtención de datos de cargas por medio de histogramas permitió al usuario lograr autonomía acorde al conocimiento de su consumo y expresar opiniones referentes a su facturación mensual emitida por la empresa suministradora del servicio.

5. CONCLUSIONES

La administración se llevó a cabo mediante el Raspberry Pi 3 y el Arduino UNO, confirmando la sustentación de resultados al obtener la eficiencia energética. Mediante el monitoreo, control y regulación de cargas se redujo el consumo eléctrico mensual del predio en un 10%.

Las plataformas utilizadas como centro de control y elementos para la adquisición de datos, representan facilidad al obtenerlos y omitir la suscripciones mensuales a sitios web.

Proyectos aplicados como Foresee CITATION Jin17\1034 [HYPERLINK \1034 "Jin17" 8] permiten la administración energética en el hogar dependiendo de una plataforma web y altos costos en su compra e instalación. Los materiales utilizados y su lenguaje de programación, en el presente proyecto, representan facilidad al poder ser actualizados o reemplazados debido a su versatilidad.

El estudio permitirá identificar oportunidades de reducción de consumo y concientizar al usuario acerca del des-

perdicio de energía y del daño al medio ambiente. Tal concientización se alcanzará al momento de demostrar el ahorro mediante: un historial de consumo hora a hora, identificación de horarios picos, alertas de ineficiencia en electrodomésticos y sobretodo la reducción de su facturación mensual.

El sistema de administración energética permitirá que el usuario note el confort al momento de obviar acciones de ahorro y la prestación del sistema está dirigida hacia el usuario como ayuda para su consumo mensual.

Como punto de quiebre se destaca el bajo nivel de ahorro mensual, debido a elementos de fácil asequibilidad su exactitud es baja y el resultado puede ser apreciado a mayor escala de tiempo.

Las posibles fallas que existan en el sistema de distribución para alimentar los dispositivos, ameritan la implementación de un gestor de datos como centro de control y facilitador de en el caso de fallos en los dispositivos.

La seguridad del sistema debe ser compensada mediante generación renovable, como alimentación de emergencia en caso de interrupciones del suministro energético.

La comunicación del dispositivo se la afirma con módems inalámbricos, actuando como respaldo del enlace establecido.

El nivel administrativo excluirá de autonomía al usuario, pero alcanza se-

guridad en la manipulación de sus datos. Las auditorías energéticas deben ser implementadas y desarrolladas para explotar la eficiencia en diversos sectores de consumo y analizar su impacto en la sociedad.

La eficiencia en el sector residencial debe manejarse en coordinación con el usuario, apegarse a sus necesidades y aprender de las mismas en vías de mejora.

REFERENCIAS

- [1] G Shakouri and Aliakbarisani, "At what valuation of sustainability can we abandon fossil fuels? A comprehensive multistage decision support model for electricity planning," *Energy*, vol. 107, pp. 60-77, 2016.
- [2] V Guillén, F Quesada, Ma Lopez, D Orellana, and A Serrano, "Eficiencia energética en edificaciones residenciales," *ESTOA*, vol. 7, p. 54, Dic 2015.
- [3] Juan Lata, Christopher Reyes, and Francisco Jurado, "Attaining the Energy Sustainability: Analysis of the Ecuadorian Estrategy," Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Técnico 2016.
- [4] ARCONEL, "Balance Nacional de Energía 2017," ARCONEL, Quito, Técnico 2017.
- [5] Organización Internacional de Normalización, "Gana el desafío de la energía con ISO 50001," Ginebra, Técnico 2011.
- [6] Fadi Al Faris, Adel Juaidi, and Francisco Manzano-Agugliaro, "Intelligent homes' technologies to optimize the energy performance for the net zero energy home," *Energy and Buildings*, vol. 153, pp. 262-274, Octubre 2017.
- [7] Daniel Arroyo García, "Consumos Fantasma Residenciales," *El Telegrafo*, Agosto 2016.
- [8] Xin Jin, Kyri Baker, Dane Christensen, and Steven Isley, "Foresee: A user-centric home energy management system for energy efficiency and demand response," *Applied Energy*, vol. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.166>, Agosto 2017.
- [9] J Vega de Kuyper and M Ramírez, *Fuentes de energía*, AlfaOmega, Ed. México, México: Alfa Omega, 2014.
- [10] Ep Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2013, Mayo) www.energia.gob.ec. [Online]. <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-residencial/>
- [11] Samuel Gyamfi, Felix Amankwah, Ebenezer Nyarko, Frank Sika, and Mawufemo Modjinoua, "The energy efficiency situation in Ghana," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.007>, Junio 2017.
- [12] Alessio Cimini and Mauro Moresi, "Energy efficiency and carbon footprint of home pasta cooking appliances," *Journal of Food Engineering*, vol. 204, pp. 8-17, Julio 2017.
- [13] Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, *Plan Nacional del Buen Vivir*, Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, Ed. Ecuador: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013.

- [14] Dirección de comunicación del ministerio del ambiente. (2016, Julio) Ministerio del Ambiente. [Online]. [http12345://www.ambiente.gob.ec/ecuador-suscribe-acuerdo-de-paris-sobre-cambio-climatico/](http://12345://www.ambiente.gob.ec/ecuador-suscribe-acuerdo-de-paris-sobre-cambio-climatico/)
- [15] N. Edomah, "On the path to sustainability: Key issues on Nigeria's sustainable energy development in: Energy Reports," vol. 2, pp. 28-34, 2016.
- [16] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2017, Feb.) Plan Maestro De Electrificación 2013-2022: Estudio y Gestión de la Demanda Eléctrica. [Online]. <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/plan-maestro-de-electrificacion-2013-2022>
- [17] Tisalema A, Nogales R, and Urvina R, "Diseño y validación de un sensor biométrico prototipo en raspberry pi para el control de acceso," in *Tercer Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad*, Guayaquil, 2016, pp. 12-19.
- [18] Antonio Carretero and García Juan, "Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora," Aenor, Méjico, Técnico 2012.
- [19] Dagnija Blumberga et al., "Energy Efficiency and Energy Management Nexus," *Energy Procedia*, vol. 95, pp. 71-75, Septiembre 2016.
- [20] Nino Vega, Karen Paredes, Eduardo Holguín, and Luis Córdova, "Control integrador de un sistema de iluminación inteligente," *Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la sociedad*, vol. 3, pp. 70-86, Junio 2017.
- [21] Xiaodong Fan, Bo Qiu, Yuanyuan Liu, Haijing Zhu, and Bochong Hang, "Energy Visualization for Smart Home," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 2545-2548, Mayo 2017.
- [22] Habib Elkhorchani and Khaled Grayaa, "Novel home energy management system using wireless communication technologies for carbon emission reduction within a smart grid," *Journal of Cleaner Production*, vol. 135, pp. 950-962, Noviembre 2016.

Proposal of a functional consumer product (bread) based on Soya, Máchica, Amaranto and Chia

Propuesta de un producto funcional de consumo (pan)
a base de Soya, Máchica, Amaranto y Chía

G. Arciniega, F. Jaramillo, P. Muñoz

Abstract: *Three different formulations were developed as functional products (bread) using fortified flour, whole meal, maize, soy, amaranth and chia, with which an evaluation of the sensorial characteristics (color, odor, flavor and texture) of 30 final consumers; for which an affective test was used using a hedonic scale of seven points. The treatments presented were coded with three-digit random numbers, to be analyzed statistically using an Analysis of Variance (ANOVA) of the Univariate General Linear Model and Tukey's Test for treatments with a significant difference with a level of significance ($p < 0,05$), which was performed through the IBM SPSS Statistics 22.0 statistical program; where the treatments did not obtain significant differences for the attributes of color and smell, whereas for flavor and texture Treatment 3 differed from the others; obtaining the highest score.*

Keywords: *functional products, sensorial characteristics, final consumers.*

Resumen: Se desarrollaron 3 diferentes formulaciones como productos funcionales (pan) empleando harina fortificada, harina integral, máchica, soya, amaranto y chíá, con los cuales se realizó una evaluación de las características sensoriales (color, olor, sabor y textura) por parte de 30 consumidores finales; para lo cual se utilizó una prueba afectiva mediante una escala hedónica de siete puntos. Los tratamientos presentados fueron codificados con números aleatorios de tres dígitos, para luego ser analizados estadísticamente mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) del Modelo Lineal General Univariante y Prueba de Tukey para los tratamientos con diferencia significativa con un nivel de significancia ($p < 0,05$), que fue realizado a través del programa estadístico IBM SPSS Statistics 22.0; en donde los tratamientos no obtuvieron diferencias significativas para los atributos de color y olor, mientras que para sabor y textura el Tratamiento 3 difería de los demás; obteniendo el más alto puntaje.

Palabras clave: productos funcionales, características sensoriales, consumidores finales.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos el consumidor ha mostrado un interés evidente hacia alimentos que no sólo aportan un valor nutritivo, sino también beneficios fisiológicos para el organismo. Los alimentos funcionales han sabido cubrir esta necesidad con un mercado que ha crecido exponencialmente. Para la mayoría de la industria, un alimento funcional es el que, entre sus ingredientes nutritivos se encuentran componentes adicionales que favorecen la salud, la capacidad física y el estado mental de una persona. El consumidor empieza a preferir un producto funcional que incluya un componente beneficioso de manera “natural” antes que cualquier otro alimento funcional con un componente añadido artificialmente. Por tanto, éste necesita tener una percepción positiva del producto funcional; ya que empieza a ponerse de manifiesto que cuando un individuo percibe un alimento funcional como antinatural, deja de comprarlo por considerarlo, a su vez, poco saludable.

La presente investigación se basa en proponer un producto funcional de consumo (pan) a base de soya (*Glycine Max*), málchica (*Hordeum vulgare*), amaranto (*Amaranthus*) y chíá (*Salvia Hispanica*); cuyos componentes son considerados como productos tradicionales con diversas características funcionales beneficiosas para el organismo humano.

Los cereales y las legumbres han constituido en todos los tiempos la base

de la alimentación humana. Todos los cereales son buenas fuentes de carbohidratos complejos y algunas vitaminas y minerales esenciales. Sin embargo, los cereales integrales se han asociado a un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, ciertos tipos de cáncer (especialmente colorrectal), mejor salud digestiva (menor riesgo de diverticulosis), menor riesgo de muerte debido a enfermedades inflamatorias, ayudan a controlar el peso, entre otros beneficios. Debido a las evidencias contundentes de las propiedades saludables de los cereales integrales, importantes organismos e instituciones están promoviendo su consumo. [1]

Por tanto, se ha desarrollado un producto funcional de consumo inmediato como es el pan, con el cual se desea llegar a los consumidores para satisfacer necesidades de una mejor alimentación para beneficio de la salud humana. Es para esto que se ha realizado una evaluación sensorial de diferentes tratamientos en base a los diferentes niveles de las variables independientes como: málchica, soya, amaranto y chíá para poder obtener así la mejor formulación del producto. Por tanto, al tratarse de una investigación de tipo experimental se van a contrastar hipótesis, que consisten en la influencia o no de las distintas concentraciones de los componentes mencionados anteriormente en las características organolépticas del pan desarrollado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Panificación

Se utilizó harina fortificada de trigo, máchica, harina de soya, salvado de trigo, semilla de chía (*Salvia hispánica* L), margarina, azúcar refinada, levadura, huevos, sal, polvo de hornear, mejorador de masa, agua, amaranto y goma xanthan. La fórmula básica para el pan de ce-

reales fue la siguiente: harina fortificada 50.3%, sal 1%, levadura 2%, huevos 9%, agua 20.1%, margarina 12.6% y azúcar 5%. Se utilizó una amasadora industrial marca “Linck Rich”, con una capacidad de 10 kg. A partir de la fórmula básica de pan, se desarrollarán los tratamientos que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos obtenidos

INGREDIENTES	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)
Harina Fortificada	17,1	16,2	39,2
Harina Integral	19,6	23,2	5,0
Máchica	5,6	4,5	2,8
Harina de Soya	5,6	2,8	1,1
Amaranto	1,7	2,8	1,4
Chía	1,1	1,1	1,1
Sal	1,7	1,7	1,7
Mejorador de Masa	0,6	0,6	0,6
Polvo de Hornear	0,6	0,6	0,6
Agua	25,2	25,2	25,2
Huevos	8,4	8,4	8,4
Margarina	6,7	6,7	6,7
Azúcar	6,2	6,2	6,2
TOTAL	100,0	100,0	100,0

Fuente: Autores

2.2 Procedimiento

Se pesaron los ingredientes secos y húmedos por separado. Se mezcló por 20 minutos aproximadamente en la batidora “Linck Rich” a velocidad media.

Se fermentó la masa a 30°C durante 20 minutos. Después, se hizo un amasado, leve manual por 2 minutos para eliminar el CO₂ presente en la masa.

Se pesaron y bolearon porciones de aproximadamente 60 g, luego se dispusieron en latas limpias y engrasadas de 15 unidades, luego de un reposo se extendieron y se realizaron cortes decorativos. Se fermentaron a 30°C aproximadamente por 60 minutos o hasta que duplicaron su tamaño. Se hornearon a 170 – 180 °C durante 25 minutos.

Se dejaron enfriar por 120 minutos para realizar su envasado en fundas de 5 unidades con un peso aproximado de 250g. El día siguiente se realizó las correspondientes cataciones.

2.3 Análisis Sensorial

Para la evaluación de las características sensoriales de la formulación final por los panelistas, se utilizó una prueba afectiva mediante una escala hedónica de siete puntos: “me gusta mucho, me gusta, me gusta ligeramente, ni me gusta ni me disgusta, me disgusta ligeramente, me disgusta y me disgusta mucho” [2]. Para ello, se elaboraron 3 tratamientos con diferentes variaciones en sus componentes; los cuales fueron evaluados (por duplicado) por 30 panelistas como consumidores finales, en características sensoriales como: color, olor, sabor y textura. Los tratamientos presentados fueron codificados con números aleatorios de tres dígitos.

2.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Se realizaron una serie de etapas para en primera instancia direccionar la investigación al producto más apetecido por el consumidor. Es para esto que se inició partiendo de cuatro tratamientos (diferentes tipos de pan integral). T1: Pan Integral a base de avena, máchica, Centeno y chífa, T2: Pan Integral a base de arroz de cebada, amaranto, linaza y centeno, T3: Pan Integral a base de máchica, quinoa, linaza y avena y el T4: Pan Integral a base de soya, amaranto, máchica y chífa; con los cuales se realizó una prueba afectiva de aceptación, con escala hedónica de siete puntos y con 30 consumidores finales; en donde los tratamientos que tuvieron mayor aceptación fueron el Tratamiento 1 y 4. Dichos tratamientos fueron evaluados con un panel de 10 catadores entrenados a través de una prueba de preferencia, en la cual los catadores seleccionaron al Tratamiento 4 como de su preferencia. Por tanto, con el tratamiento seleccionado se realizaron variaciones del mismo en algunos de sus componentes.

Los resultados del Análisis Sensorial aplicado para determinar la formulación final fueron (ANOVA) del Modelo Lineal General Univariante y Prueba de Tukey para los tratamientos con diferencia significativa con un nivel de significancia ($p < 0,05$), que fue realizado a través del programa estadístico IBM SPSS Statistics 22.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la evaluación sensorial cuyos promedios variaron de 0.9 a 2.1.

Tabla 2. Resultados de los tratamientos por atributo

Atributo	T1	T2	T3
Color	1,4±1,4	2,0±0,9	2,0±0,8
Olor	1,7±1,0	1,8±0,9	2,1±0,9
Sabor	0,9±1,0	1,4±1,1	2,0±1,0
Textura	1,2±1,6	1,7±1,0	2,1±1,0

Fuente: Autores

Luego de tener una formulación con ingredientes como: huevos, goma xanthan, polvo de hornear, sal, margarina, azúcar, agua, levadura, salvado de trigo; así como para también el amaranto y la chía que han sido adicionados en cantidades constantes y finalmente han constituido como variables independientes: Harina fortificada, harina integral, máchica, harina de soya, y ama-

ranto; con los cuales se ha realizado una evaluación sensorial por catadores no entrenados según cada uno de los atributos anteriormente mencionados. Para contrastar las hipótesis planteadas se ha aplicado la Prueba ANOVA a los resultados tabulados, con el fin de establecer las diferencias significativas entre los tratamientos. La Tabla 3 muestra los resultados de la prueba para el color.

Tabla 3. Prueba ANOVA para Color

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7,622a	2	3,81	3,4	0,036
Interc.	295,2	1	295,	67,0	0,000
TRAT.	7,622	2	3,81	3,4	0,036
Error	96,16	87	1,10		
Total	399,0	90			

a. R2 al cuadrado = 0,073 (R2 ajustada = 0,052)

Fuente: Autores

Con estos resultados, se puede decir que al obtener un nivel de significación intraclase menor a 0,05, se rechaza la hipótesis nula, es decir, existe diferencia significativa entre los tratamientos para el atributo de color. Por tanto, se efectuará la prueba post-hoc DMS para constatar los tratamientos que difieren como se muestra en la Tabla 4.

Como se muestra en la Tabla existe evidente diferencia significativa entre los tratamientos T1 vs T2 y T3. Sin embargo, el tratamiento 2 presenta el valor más elevado para esta característica (2.03).

Por otro lado, así mismo se realizó el análisis de varianza para el atributo de olor como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 4. Prueba DMS para Color

(I) TRAT.	(J) TRAT.	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
T1	T2	-0,63*	0,271	0,022
	T3	-0,60*	0,271	0,030
T2	T1	0,63*	0,271	0,022
	T3	0,03	0,271	0,903
T3	T1	0,60*	0,271	0,030
	T2	-0,03	0,271	0,903

Nota: Se basa en las medias observadas. El error cuadrático medio es = 1,105. El asterisco representa que la diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05

Fuente: Autores

Tabla 5. Prueba ANOVA para Olor

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2,956 ^a	2	1,478	1,69	0,190
Interc.	321,111	1	321,11	367,9	0,000
TRAT.	2,956	2	1,478	1,69	0,190
Error	75,933	87	0,873		
Total	400,000	90			

a. R^2 al cuadrado = 0,37 (R^2 ajustada = 0,15)

Fuente: Autores

Así mismo, al obtener un nivel de significación intraclase mayor a 0,05,

para lo cual se acepta la hipótesis nula, es decir, no existe diferencia significa-

tiva en los tratamientos para el atributo de olor. Sin embargo, el Tratamiento 3

ha presentado una ponderación más elevada para éste atributo (2.13).

Tabla 6. Prueba ANOVA para Sabor

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	17,089 ^a	2	8,544	6,9	0,002
Interc.	182,044	1	182,04	148	0,000
TRAT.	17,089	2	8,544	6,9	0,002
Error	106,867	87	1,228		
Total	306,000	90			

a. R^2 al cuadrado = 0,138 (R^2 ajustada = 0,118)

Fuente: Autores

En cuanto al atributo del sabor del producto, al obtener un nivel de significación intraclase menor a 0,05; se rechaza la hipótesis nula, es decir, se acepta la hipótesis que establece la desigualdad de medias entre los tratamientos, con lo que se quiere decir que existe diferencia significativa entre los mismos. Es por esto que se ha procedido a realizar la prueba de Tukey para el atributo de sabor como se muestra en la Tabla 7.

A través de esta tabla, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos T1 y T3, ya que el tratamiento 2 es homogéneo en los dos subgrupos. Sin embargo, para esta característica el T3 ha obtenido una mayor ponderación (1.97).

Al analizar el atributo de textura, para el análisis de varianza; se han obtenido los resultados que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 7. Prueba Tukey para Sabor

TRATAMIENTOS	N	Subgrupos	
		1	2
T1	30	0,90	
T2	30	1,40	1,40
T3	30		1,97
Sig.		0,194	0,123

Nota: Se presentan las medias observadas para los grupos en subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El error cuadrático medio es = 1,228. Se emplea la media armónica con tamaño de muestra = 30,0. Alpha = 0,05.

Fuente: Autores

Tabla 8. Prueba ANOVA para Textura

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	13,067 ^a	2	6,533	4,212	0,018
Interc.	250,000	1	250,00	161,1	0,000
TRAT.	13,067	2	6,533	4,212	0,018
Error	134,933	87	1,551		
Total	398,000	90			

a. R^2 al cuadrado =,088 (R^2 ajustada =,067)

Fuente: Autores

Como se puede observar en la tabla, el nivel de significancia es menor a 0,05; por tanto, se rechaza la hipótesis nula; lo que nos indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos. Es

por esta razón que se ha procedido a realizar la prueba de Tukey con el fin de determinar los tratamientos que difieren como se lo muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Prueba Tukey para Textura

TRATAMIENTOS	N	Subgrupos	
		1	2
T1	30	1,20	
T2	30	1,67	1,67
T3	30		2,13
Sig.		0,319	0,319

Nota: Se presentan las medias observadas para los grupos en subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El error cuadrático medio es = 1,551. Se emplea la media armónica con tamaño de muestra = 30,0. Alpha = 0,05.

Fuente: Autores

Igualmente, para el atributo de textura se han formado subgrupos (diferencias significativas entre medias de los tratamientos) en donde el Tratamiento 2 es constante y difiere de T1 y T3; de los cuales se puede observar que el T3 ha obtenido una mejor puntuación (2.1).

Como se pudo observar, para el atributo de olor, a diferencia de los demás atributos; no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos debido a que todas las variables independientes a sus diferentes niveles no influyeron en estas características que se constituyen como dependientes. A más

de que se pudo determinar de que el tratamiento 3 ha sido más apetecible por el consumidor en la mayoría de atributos.

La sustitución parcial o total de harina de trigo por harinas de otros cereales (por ej. maíz, arroz) en la elaboración de productos de panificación para distintos grupos poblacionales, ha sido estudiada por diversos autores. Sin embargo, no se han encontrado trabajos de investigación que utilicen exactamente esta mezcla de harinas en el pan. [3],

En estudios realizados [4], los panes con 15% de Harina de Linaza fueron significativamente más claros que el color de los otros panes, mientras que los panes con 15% HL y 10% de Harina de Soya que es lo que enmarca a este estudio fueron significativamente más oscuros. La corteza del pan de linaza tenía el color más claro porque la linaza molida no participa en la reacción de Maillard, como la *Harina de trigo* y la *Harina de Soya*. El color de la corteza se ve afectado por Maillard que es una reacción de pardeamiento no enzimático que implica al grupo amino de la proteína o aminoácido y al grupo carbonilo de un azúcar simple. Consecuentemente, la cantidad de proteína y de almidón en la fórmula del pan afectarán el índice de oscurecimiento. De los aminoácidos, la lisina participa fuertemente en la reacción produciendo el color marrón oscuro. Por lo tanto, los productos ricos en lisina, como la harina de soja, se oscurecen más que otros cuando se hornean [4]. Dichos resultados coinciden parcialmente con los nuestros, ya que los panes no solamente

están formulados con Harina de soya, sino también harina integral, máchica, amaranto y chía; por lo que se puede decir que contiene un alto porcentaje de lisina, lo que ayuda al pardeamiento no enzimático mencionado.

El color de la miga no sufre el efecto de reacciones de Maillard. En general el color de la miga está relacionado con el color de las harinas [4]. Por otro lado, para el olor, no se efectuó una tipicidad diferenciada o marcada en el desarrollo del producto; debido a la baja cantidad de cereales y leguminosa que contiene.

Por otra parte, es sabido que los panes elaborados con harinas integrales a menudo poseen menor volumen y con migas y cortezas más oscuras [4]. Sin embargo, al trabajar con una formulación con una mayor cantidad de harina fortificada y en bajas cantidades de integral y demás elementos en cuestión, se ha obtenido una elevada aceptación por parte de los catadores; debido a que ha presentado una menor crujencia como la que se suele obtener con un tratamiento que si contiene significativamente harina integral.

Adicionalmente el T3 ha demostrado tener una mayor suavidad y esponjosidad de la miga. Además, se ha optado por trabajar la masa con la adición de un aditivo mejorador, debido a que otro estudio [5], establece que, para obtener productos con la textura requerida, es aconsejable recurrir a la utilización de este tipo de sustancias; ya que, al sustituir parcialmente la harina de trigo por otro tipo de harinas, la elasticidad y viscosidad en las masas no es la misma y

pueda no resultar muy agradable para el consumidor. Finalmente, todas estas características de textura han resaltado de la misma manera el sabor del producto.

Finalmente se puede decir que al igual que el producto obtenido en el presente estudio, el cual representa aceptabilidad para el consumidor; cuyos resultados son comparables con los reportes similares encontrados para pan de sal con harina de trigo y de linaza [6], para pan con harina mixta de trigo y quinua [7] y para con harina de trigo y garbanzo [8].

Por otro lado, se ha estudiado el efecto de la utilización de harina mixta de trigo y linaza integral en proporciones de 100:0, 90:10 y 85:15, en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan de sal. Establecieron que la utilización de 10 y 15% de harina de linaza alteró la composición química de los panes, destacando el aumento en el contenido de fibra alimenticia y de lípidos. Los panes obtenidos presentaron una coloración más oscura, reducción del volumen general y específico y mayor firmeza, indicando el debilitamiento de la estructura proteica de la masa, con pérdida de la capacidad de retención de los gases provenientes de la fermentación.

Sensorialmente los panes obtuvieron buena aceptación para ambas formula-

ciones. El estudio permitió concluir que, aunque la incorporación de hasta 15% de harina de linaza promueve la disminución de las cualidades tecnológicas de 30 los panes de sal, es una opción prometedora para su comercialización, debido a la aceptación del producto y el contenido nutricional [9]. Con lo que se puede decir que al igual que el efecto visto por los componentes utilizados para el desarrollo del producto funcional propuesto, en el que se puede decir que a pesar de que presenta algunos inconvenientes más que tecnológicos, constituyen ser químicos; éste ha presentado una alta aceptabilidad por parte de los consumidores finales.

De la misma manera, se han estudiado las características reológicas de masas sin gluten de harina de amaranto, garbanzo, maíz, mijo, quinua y arroz, y su efecto sobre la calidad del pan con levadura. Los resultados les permitieron establecer que la resistencia de la masa libre de gluten a la extensión, extensibilidad y otras características obtenidas por deformación uniaxial de la masa, podían dar la información necesaria acerca de la calidad de panificación de la masa. Por lo tanto, una masa que exhibe una resistencia más fuerte a la extensión, mayor extensibilidad y mayor estrés en el momento de la ruptura de la muestra, permitiría en general, la obtención de pan con mejor calidad [9].

4. CONCLUSIONES

Después de haber elaborado algunas formulaciones de pan como producto

funcional y de haber pasado por algunas fases de desarrollo del producto,

se ha logrado obtener una formulación final (T3) de un producto funcional de panificación que contiene un alto porcentaje de harina fortificada (39.2), de harina integral (5%), máchica (2.8%), soya (1.1%), amaranto (1.4%) y chíá (1.1%); con la cual se obtuvo una gran aceptación por su buen sabor y textura, a más de que por la naturaleza nutricional de sus componentes; estos ofrecen salvaguardar necesidades alimentarias como es la reducción de absorción de glucosa en el tracto digestivo, aportar

energía y gracias a su contenido en fibra ayudan a combatir el estreñimiento.

Finalmente, se concluye que la presente investigación basa su relevancia en las ventajas nutricionales que contiene el producto, que además promueve el consumo de productos andinos tradicionales, para lo cual también se fomenta su cultivo en el Sur del país. Por otro lado, se asientan bases para desarrollar nuevos productos funcionales a partir de este tipo de mezclas que podrían estar dirigidos para distintos grupos de mercado.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades del Instituto Tecnológico Superior “Beatriz Cueva de Ayora” por el apoyo, e igualmente al grupo de catadores entrenados del Ins-

tituto, quienes supieron aportar con sus habilidades en análisis sensorial para evaluar el producto.

REFERENCIAS

- [1] Anzaldúa-Morales, A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Zaragoza: Acribia, 1994.
- [2] Araneda, M. Cereales y derivados: Composición y Propiedades. Retrieved 16 September 2017, from <http://www.edualimentaria.com/cereales-y-derivados-composicion-y-propiedades>.
- [3] Del Castillo, Valeria, Lescano, Gerardo, & Armada, Margarita. Formulación de alimentos para celíacos con base en mezclas de harinas de quínoa, cereales y almidones. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(3), 332-336, 2009.
- [4] Osuna, M., Judis, M., Romero, A., & Bertola, N. (). Características texturales y de color en panes con mezclas de harinas. *Publitech S.A.*, 2013.
- [5] Paucar-Menacho, L M; Salvador-Reyes, R; Guillén-Sánchez, J., Mori-Arismendi, S. Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de soya en las características tecnológicas y sensoriales de cupcakes destinados a niños en edad escolar. *Scientia Agropecuaria*, 7, 121-132, 2016.
- [6] Moreira, T., Pirozi, R., Borges, S., & Duke, U. Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, 18(2), 141-150, 2007.
- [7] Da Silva, J. T., Gonçalves, J., De Sousa e Silva, N. A., Ribeiro, M., & De Paula, C. D. Caracterização físico-química e sensorial de pão de forma contendo farinha mista de trigo e quinoa. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 15(3), 305-319, 2013.

- [8] Mohammed, I., Ahmed, A. R., & Senge, B. Dough rheology and bread quality of wheat-chickpea flour blends. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 196-202, 2012.
- [9] Sánchez, D., & Palacios, A. *Utilización de harinas compuestas de maíz y garbanzo adicionadas con fibra de cáscara de piña para sustitución de harina de trigo en productos de panificación*. (Tesis de Pregrado). Universidad del Valle, 2015. Retrieved from <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/8889>

Complex refractive index Snell-Descartes law in four-flux and two-flux models for suspended particle device smart windows

Ley de Snell-Descartes para índice de refracción complejo en los modelos de cuatro flujos y de dos flujos para ventanas inteligentes de dispositivos de partículas suspendidas

D. Barrios, C. Álvarez

Abstract: *Suspended particle devices are considered as green nanotechnology smart windows that optically switch from dark bluish-black coloration, with no electrical voltage (0 V or high impedance), to clear grey appearance, when a high amplitude sinusoidal voltage signal (of 100 V peak) is applied. Optical total and diffuse (and hence direct) transmittance for intermediate voltage levels between dark and clear states, with 10 V peak steps from 0 to 100 V, were measured for the sample in previous works. In this work, intermediate optical total and diffuse (and hence specular) reflectance were estimated from intermediate transmittance measurements. Measured direct transmittance and estimated specular reflectance at intermediate voltage levels were used as inputs of collimated-collimated four-flux model equations, for determining the optical constants (i.e. the complex refractive index), in a first step, while total components were used as inputs of continuous refractive index two-flux model (with correction for interfaces) for determining light extensive scattering and absorption coefficients, in a second step. The optical dependence with the applied voltage of other relevant parameters, such as extinction coefficients, interface reflectances and diffuse fractions of light at each interface for downwelling and upwelling light senses, were also studied. Clearer states are achieved when particles get oriented with the applied voltage, scattering instead of absorbing light. Optical dependence with the voltage resulted to be maximum at the visible wavelength range between 10 and 40 V peak applied.*

Keywords: *suspended particle device, complex refractive index, extensive scattering absorption coefficients, voltage dependence*

Resumen: Las ventanas inteligentes de dispositivos de partículas suspendidas son considerados como nanotecnologías verdes que ópticamente conmutan entre una coloración azulada-negra oscura, sin voltaje eléctrico (0 V o alta impedancia), a una apariencia grisácea clara, cuando una señal de voltaje sinusoidal de alta amplitud (de 100 V de pico) es aplicada. Las transmitancias ópticas total y difusa (y por tanto la directa) para niveles de voltaje intermedios entre los estados oscuro y claro, con escalones de 10 V de pico entre 0 y 100 V, fue medida para la muestra en trabajos anteriores. En este trabajo, las reflectancias ópticas intermedias total y difusa (y por tanto la especular) fue estimada a partir de las medidas de transmitancia intermedias. La transmitancia directa medida y la reflectancia especular estimada, a niveles de voltaje intermedios, fueron utilizadas como entradas de las ecuaciones colimada-colimada del modelo de cuatro flujos, para determinar las constantes ópticas (es decir, el índice de refracción complejo), en un primer paso, mientras que las componentes totales fueron utilizadas como entradas del modelo de dos flujos para índice de refracción continuo (con la corrección para las interfaces) para determinar los coeficientes extensivos de dispersión y absorción de la luz, en un segundo paso. La dependencia óptica con el voltaje aplicado de otros parámetros relevantes, tales como los coeficientes de extinción, las reflectancias de interface

y las fracciones difusas de la luz en cada interface, para sentidos de luz descendente y ascendente, fueron también estudiados. Los estados más claros se consiguen cuando las partículas se orientan con el voltaje aplicado, dispersando en vez de absorbiendo la luz. La dependencia óptica con el voltaje resultó

ser máxima en el rango de longitudes de onda visible entre 10 y 40 V de pico aplicados.

Palabras clave: dispositivos de partículas suspendidas, índice de refracción complejo, coeficientes extensivos de dispersión y absorción, dependencia con el voltaje.

1. INTRODUCTION

Smart windows such as suspended particle devices (SPDs) are green nanotechnologies able to save up to 40% of energy used for illuminating, heating and air-conditioning in modern buildings [1]. In a SPD there are a large number of black, light absorbing suspended particles within a polymeric film placed between two glass layers covered internally with electrical contact layers. When an electric field is applied, the particles line up and become perpendicular to the window, allowing more light crossing the sample and hence increasing the transmission (Figure 1). The particles, polyiodide (polyhalide crystals), are also used on polarizers since they exhibit a large optical anisotropy. The size of the particles should be lower than 200 nm in order to minimize light scattering and avoid a non-desired haze effect. Initially developed for displays, because of their fast answer, electrophoretic SPDs are an electrically powered chromogenic technology. The first device based on SPD technology was invented by Edwin Land of Polaroid in 1934. However, its development was slow due to problems of stability and durability when cycling [2]. Currently, the SPD window is a film patented

technology developed and licensed by Research Frontiers Inc. (NY, USA) and their licensees.

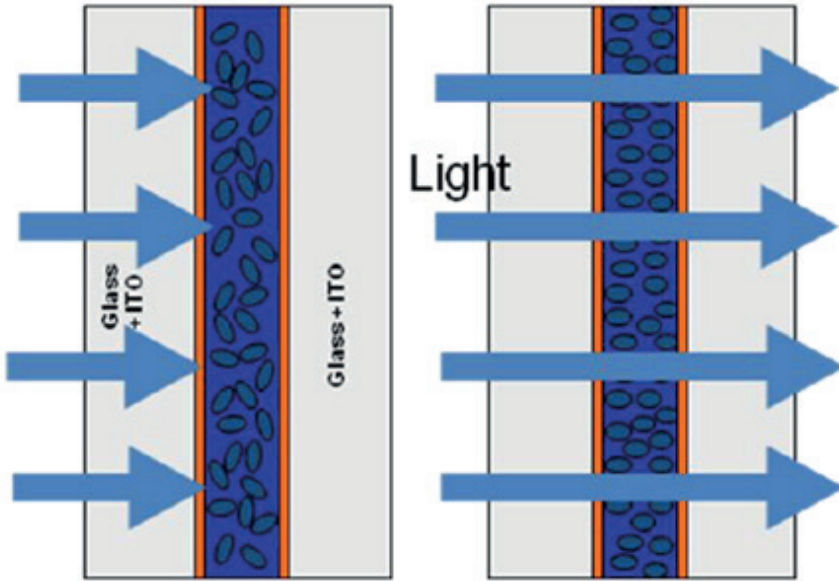
Particles are in random positions and light is absorbed. (right) ON state: Operation with applied voltage. Particles aligned and light is transmitted.

In previous works [3,4], optical constants (n and k) and extensive scattering and absorption coefficients (S and K) of a characterized SPD sample were computed at the clear and dark appearance states (with and without applied voltage) using the measurements of transmittance (T) and reflectance (R) -with and without applied voltage- by means of four-flux and two-flux models [MLG, KM]. These optical models are a useful tool for determining the optimum thickness in renewable energy systems, such as in solar collectors for improving the energy conversion the absorber coatings [5] and photovoltaic solar cells [6]. In this work, intermediate values of R between clear and dark states were estimated by means of intermediate values of T achieved by applying intermediate voltage levels. Collimated-collimated T and R components – i.e. direct T and specular R (T_{dir} and R_{spec}) were used for determining n

and k in a first step. In a second step, S and K were determined by means of the total T and R components (T_{tot} and R_{tot}) for intermediate levels of coloration of

the SPD. Voltage dependence study has been carried out for both first and second steps parameters.

Figure 1. Working principle of a SPD: (left) OFF state: Operation with no applied voltage



2. METHODS

2.1 Devices

The SPD sample characterized in this work, with $22 \times 28 \text{ cm}^2$ active area and $300 \mu\text{m}$ inner active layer thickness, was supplied by CRICURSA, license of Research Frontiers Inc, as described in previous works ([3], Figure 2):

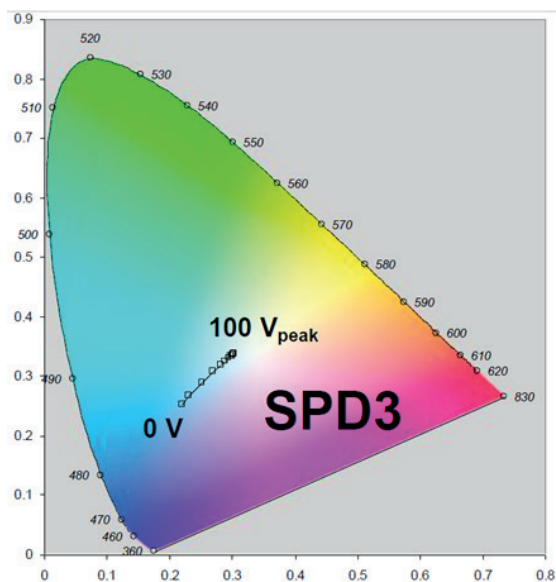
2.2 Optical measurements

Diffuse and total T and R measurements were carried out to the SPD sample at 0 and $100 \text{ V}_{\text{peak}}$ applied, for the dark and clear states respectively, using a Perkin Elmer Lambda 900 spectrometer equipped with an integrating sphere (Figure 4) in the solar range between 250 and 2500 nm with 5 nm steps, leading to T_{dir} and R_{spec} .

Figure 2. SPD smart window in dark (up) and clear (down) states with 0 and 100 V_{peak} applied. Simulated RGB chromatic appearance for 10 V steps (right) from CIE 1931 chromaticity diagram (Fig 3)



Figure 3. CIE 1931 chromaticity diagram for 10 V steps between 0 and 100 V_{peak} applied to the SPD [7]

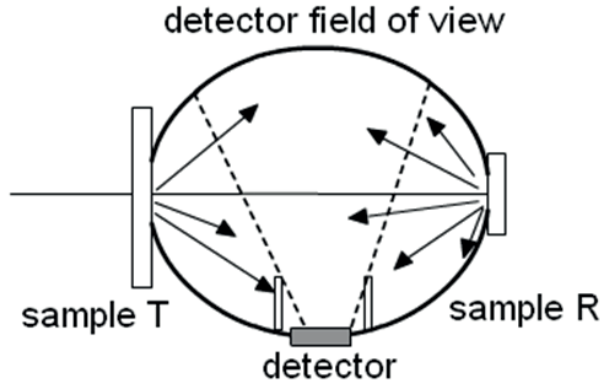


For T measurements, intermediate values for 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, and 90 V_{peak} were also measured. Simulated RGB appearance of intermediate levels (fig.2-right) from dark (up) to clear (down) states of the SPD are derived using the XYZ to RGB conversion matrix from CIE 1931 chromaticity diagram (fig. 3). Assuming that the different orientations of dispersed particles for each voltage level cause the different spectral intermediate values of

T, intermediate values of R should be related to intermediate values of T and therefore can be estimated. Equation 1 is proposed for estimating intermediate values of R_{tot} and R_{diff} , and hence R_{spec} , from intermediate values of T_{tot} and T_{diff} , being xx from 10 to 90 V_{peak} applied:

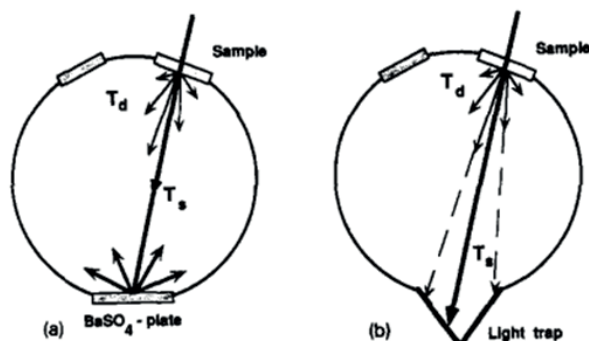
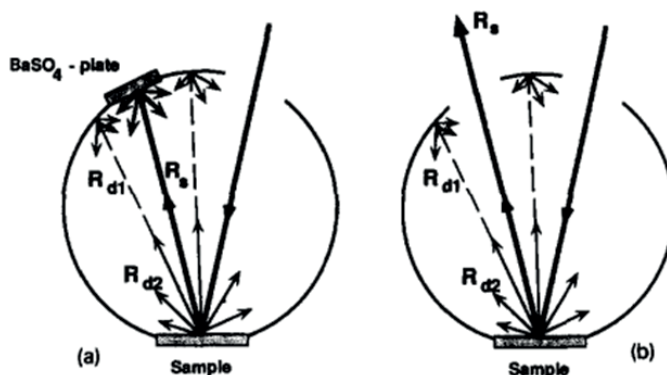
$$R_{xx} = R_0 + (R_{100} - R_0) \cdot \frac{(T_{xx} - T_0)}{(T_{100} - T_0)} \quad (1)$$

Figure 4. Integrating sphere based spectrometer used for measuring diffuse component of T and R



Figures 5 and 6 show how T and R measurements are carried out when using an integrating sphere based spectrometer. Note that there is an angle of incidence different than normal incidence (0°) in order to let scape the collimated component of R. Placing the sample at the T position, BaSO_4 diffuser white plate in Figure 1 is placed in the wall of the sphere at the direction of specular or direct component (T_s line) for total T

measurements (T_{tot}) while a hollow black cone with a diffuser surface is used instead as light trap for diffuse T measurements (T_{diff}), absorbing the collimated light component. For total and diffuse R measurements (R_{tot} and R_{diff}), placing the sample at the R position, BaSO_4 diffuser white plate in Figure 2 is placed in the wall of the sphere at the direction of specular or direct component (R_s line) [8].

Figure 5. Integrating sphere for T mode set for (a) T_{tot} (b) T_{diff} [8]Figure 6. Integrating sphere for R mode set for (a) R_{tot} (b) R_{diff} [8]

2.3 Two-flux and four-flux models

Collimated-collimated equations of four-flux model (cc-4FM, [9-10]) relate T_{dir} and R_{spec} with complex refractive index $\tilde{n}=n-ik$, where the real part $n=c/v$ relates c , the speed of light in vacuum (300.000 km/s) with v , the velocity of light in the medium, while the imaginary part $k=\lambda/(4 \cdot ext)$ relate the wavelength λ with the extinction coefficient $ext=\alpha+\beta$, where α and β stand for the intrinsic scattering and absorption coefficients of collimated -diffuse equations of four-flux model (cd-4FM). Extinction coefficient ext are also observed

in Lambert-Beer law for attenuation of light in a medium $I(z)=I_0 \cdot e^{-ext \cdot z}$, being $I_0=I(z=0)$ i.e. at the interface. These equations correspond to an approximation carried out neglecting multilayer assembly of the SPD (due to unknown of the optical constants of the external glass substrate and transparent conductor thin layers) and considering normal incidence of light measured inside the integrating sphere. Besides, the collimated interface reflectance is an intermediate parameter $r_c=[(n-1)/(n+1)]^2$ which depend on the real part of the refractive index.

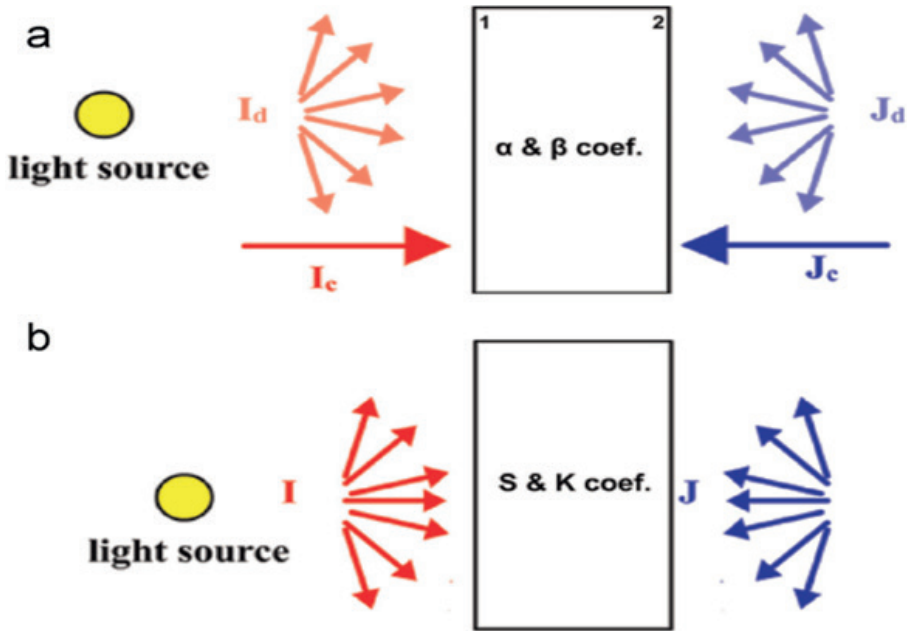
The first step uses cc-4FM eqs. 2 and 3 for determining the optical constants, i.e. n and k , in order to obtain the in-

termediate parameters r_c and ext (which finally depend on n and k), by fitting to T_{dir} and R_{spec} in Figure 7.(a):

$$T_{cc} = T_{dir} = \frac{(1 - r_c)^2 e^{-ext \cdot \delta}}{1 - r_c^2 e^{-2 \cdot ext \cdot \delta}} \quad (2)$$

$$R_{cc} = R_{spec} = r_c + \frac{(1 - r_c)^2 r_c e^{-ext \cdot \delta}}{1 - r_c^2 e^{-2 \cdot ext \cdot \delta}} \quad (3)$$

Figure 7. (a) Four-flux model showing collimated and diffuse light beams with active layer intrinsic scattering and absorption coefficients α and β . (b) Two-flux model showing total light beams with active layer extensive scattering and absorption coefficients S and K



Since cd-4FM consists of a system of two equations and three unknowns, called *ACP* and *FSR* (Average Crossing Parameter and Forward Scattering Ratio, respectively), together with α or β (since $ext = \alpha + \beta$ is now known from first step equations), a new equation is required and hence the second step uses

instead eqs. 4 and 5 of diffuse-diffuse two-flux model (dd-2FM, [11]) and a correction for considering the interface reflectance (consisting on eqs. 6 and 7) for fitting to the total components in Figure 7.b (suffix *CRI* standing for continuous refractive index, [12-13]):

$$T_{dd} = T_{tot} = \frac{(1 - \omega^j) T_{CRI}}{1 - \omega^j R_{CRI}} \quad (4)$$

$$R_{dd} = R_{tot} = \omega^i + \frac{(1 - \omega^j)(1 - \omega^j) R_{CRI}}{1 - \omega^j R_{CRI}} \quad (5)$$

$$T_{CRI} = \frac{b(1 - R_g)}{(a - R_g) \sinh bS\delta + b \coth bS\delta} \quad (6)$$

$$R_{CRI} = \frac{1 - R_g (a - b \coth bS\delta)}{a - R_g + b \coth(bS\delta)} \quad (7)$$

$$a = 1 + \frac{K}{S} \quad (8)$$

$$b = \sqrt{a^2 - 1} \quad (9)$$

In these eqs. R_g , is the total interface reflectance at the bottom interface “O” for downwelling light beam “i” and ω^i and ω^j are the total interface reflectances at the top interface “D” for downwelling “i” and upwelling “j” light beams respectively. The three total interface reflectances R_g , ω^i and ω^j , consist of a collimated part and of a diffuse part, according to eq. 10, where q stand for the diffuse fractions of light at each interface [12]:

$$\omega_{n0 \rightarrow n1}(q) = \omega_{c,n0 \rightarrow n1}(1 - q) + \omega_{d,n0 \rightarrow n1}q \quad (10)$$

Since the SPD sample is illuminated with collimated light from the top interface “D” side and in downwelling direction “i”, $q_D^i = 0$. Equations 11 and 12 for q_0^i and q_D^j are explained in [3]:

$$q_0^i = \frac{(T_{tot} - T_{dir})(1 - r_c)}{T_{tot}(1 - r_c) - T_{dir}(r_d - r_c)} \quad (11)$$

$$q_D^j = \frac{(R_{tot} - R_{spec})(1 - r_c)}{R_{tot}(1 - r_c) - R_{spec}(r_d - r_c) + r_c r_d - r_c} \quad (12)$$

Diffuse interface reflectance r_d is computed averaging Fresnel reflection coefficients at all angles (eq. 13 and 14) and depend on if light crosses from a media with bigger or smaller refractive index [12]:

$$r_d = \omega_{d,n0 \rightarrow n1} = \begin{cases} f\left(\frac{n_1}{n_0}\right) n_0 < n_1 \\ 1 - \left(\frac{n_1}{n_0}\right)^2 \left[1 - f\left(\frac{n_0}{n_1}\right)\right], n_0 > n_1 \end{cases} \quad (13)$$

$$f(m) = \frac{1}{2} + \frac{(m-1)(3m+1)}{6(m+1)^2} + \frac{m^2(m^2-1)}{(m^2+1)^3} \ln \frac{m-1}{m+1} - \frac{2m^3(m^2-2m-1)}{(m^2+1)(m^4-1)} + \left[\frac{8m^4m^4+1}{(m^2+1)(m^4-1)} \right] \ln m \quad (14)$$

The third step considers cd-4FM which requires a new equation, being out of the scope of the present work and will be proposed for ACP parameter as a continuation of this work.

2.4 Snell-Descartes law for complex refractive index with a 10° of angle of incidence measurements computed for S and P polarizations of the Fresnel transmission and reflection coefficients

In this work, the first step has been slightly modified in order to take into account the $\theta_i = 10^\circ$ of angle of incidence, which must be considered due to the features of the integrating sphere based spectrometer used. This incidence angle is used in order to let scape specular

light reflected by the sample optically characterized. Hence, collimated interface reflectance formula $r_c = [(n-1)/(n+1)]^2$ is not applied and instead the following process was carried out. Besides, complex \tilde{n} instead of real n refractive index must be considered. However, since $Q=r_c$ cannot be a complex number, the collimated interface reflectance Q must be obtained as the multiplication of the reflection coefficient r multiplied by its conjugate r^* (instead of square exponential). For normal incidence the reflection coefficient is $r=(\tilde{n}-1)/(\tilde{n}+1)$ and $Q=r \cdot r^*$ [14]. Collimated interface transmittance $\tau=1-Q$, since the model assumes that there is not scattering neither absorption at the interfaces. However, collimated interface transmittance can also be obtained using the expression $\tau = \text{Real}(\tilde{n}/1) \cdot t \cdot t^*$ being the transmission coefficient $t=2\tilde{n}/(\tilde{n}+1)$ for normal incidence and assuming a single layer model surrounded by air.

However, for an angle of incidence different than 0° with the normal, Fresnel equations (15) to (18) must be considered:

$$r_s = \frac{\tilde{n}_1 \cos \theta_i - \tilde{n}_2 \cos \theta_t}{\tilde{n}_1 \cos \theta_i + \tilde{n}_2 \cos \theta_t} \quad (15)$$

$$t_s = \frac{2\tilde{n}_1 \cos \theta_i}{\tilde{n}_1 \cos \theta_i + \tilde{n}_2 \cos \theta_t} \quad (16)$$

$$r_p = \frac{\tilde{n}_2 \cos \theta_i - \tilde{n}_1 \cos \theta_t}{\tilde{n}_2 \cos \theta_i + \tilde{n}_1 \cos \theta_t} \quad (17)$$

$$t_p = \frac{2\tilde{n}_1 \cos \theta_i}{\tilde{n}_2 \cos \theta_i + \tilde{n}_1 \cos \theta_t} \quad (18)$$

Here θ_t must be obtained from Snell-Descartes law for a complex refractive index. Hence, instead of the well-known equation $n_1 \cdot \sin \theta_i = n_2 \cdot \sin \theta_t$ (which would result into a complex transmitted angle θ_t), equation 19 is used for taking into account the scattering and absorption, i.e. the extinction involved into the imaginary part of the refractive index, as it was previously suggested [15]:

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{n_1}{n_2 \left(1 - \frac{k_2^2}{n_2^2} \right)} \quad (19)$$

Collimated interface reflectance Q and transmittance τ for S and P polarizations can be obtained from equations 20 and 21:

$$\rho = r \cdot r^* \quad (20)$$

$$\tau = \text{Real} \left(\frac{\tilde{n}_2 \cdot \cos \theta_t}{\tilde{n}_1 \cdot \cos \theta_i} \right) \cdot t \cdot t^* \quad (21)$$

Collimated interface T and R τ and Q for all polarizations can be obtained by averaging the determined from the two separate treatments of polarized radiation.

Collimated-collimated transmittance and reflectance equations of four-

flux model considering a 10° of angle of incidence

Eq. 22 and 23 were given by Körtum [16] and are used for T_{12}^i and R_{12}^i components, i.e. light transmitted or reflected through top “1” and bottom “2” interfaces when illuminating with collimated light in downwelling direction “i” (being “j” the upwelling direction):

$$R_{12}^i = R_1^i + \frac{T_1^i T_1^j R_2^i}{1 - R_1^j R_2^i} \quad (23)$$

Körtum eq. are used for cc-4FM eq. 2 and 3 being $T_1^i = (1 - r_c)$, $T_2^i = (1 - r_c) \cdot e^{-\text{ext} \cdot z}$, $T_1^j = (1 - r_c) \cdot e^{-\text{ext} \cdot z}$, $R_2^i = r_c \cdot e^{-\text{ext} \cdot z}$, $R_1^j = r_c \cdot e^{-\text{ext} \cdot z}$ and $R_1^i = r_c$.

However, when considering the angle of incidence different than normal incidence, i.e. $\theta_i \neq 0^\circ$, Körtum eq. for cc-4FM should be varied according to the new collimated interface transmittances τ and reflectances ρ for top (suffix 1) or

“D” interface and for bottom (suffix 2) or “0” interface in the first step:

$$T_{cc} = T_{dir} = \frac{\tau_1^i \cdot \tau_2^i \cdot e^{-\text{ext} \cdot \delta}}{1 - \rho_1^j \cdot \rho_2^i \cdot e^{-2 \cdot \text{ext} \cdot \delta}} \quad (24)$$

$$R_{cc} = R_{spec} = \rho_1^i + \frac{\tau_1^i \cdot \tau_1^j \cdot \rho_2^i \cdot e^{-\text{ext} \cdot \delta}}{1 - \rho_1^j \cdot \rho_2^i \cdot e^{-2 \cdot \text{ext} \cdot \delta}} \quad (25)$$

Körtum eq. are also used for dd-2FM eq. 4 and 5, being $T_1^i = (1 - \omega^i)$, $T_2^i = T_{\text{CRI}}$, $T_1^j = (1 - \omega^j)$, $R_2^i = R_{\text{CRI}}$, $R_1^j = \omega^j$ and $R_1^i = \omega^i = r_c$ (since $q_D^i = 0$). In this second step, eq. 11 and 12 for diffuse fractions of light at each interface must also be varied to eq. 26 and 27:

$$q_0^i = \frac{(T_{tot} - T_{dir})(1 - \rho_2^i)}{T_{tot}(1 - \rho_2^i) - T_{dir}(r_d - \rho_2^i)} \quad (26)$$

$$q_\delta^j = \frac{(R_{tot} - R_{spec})(1 - \rho_1^j)}{R_{tot}(1 - \rho_1^j) - R_{spec}(r_d - \rho_1^j) + r_c r_d - \rho_1^j} \quad (27)$$

3. RESULTS AND DISCUSION

Due to clarity reasons, Figures 8 to 18 include two plots which are shown consecutively in order to improve the understanding of the Matlab contour plots for the measured T and estimated R values with the different voltage steps applied to the SPD sample, which optically changes from dark to clear appearance with intermediate states.

Figure 8 show cc-4FM T_{dir} measurements and R_{spec} estimations (using eq. 1) and the Matlab contour plots for T_{dir}

and R_{spec} contrasts every 10 V_{peak} steps applied, showing differences between 0 and 100 V_{peak} in the 400-1400 nm wavelength range, with maximum contrast from 0 to 50 V_{peak} applied. Observe that for voltages higher than 70 V_{peak} the contrasts reduce considerably. Differences of T and R contrasts are lower in the range of 70 to 100 V_{peak} which indicates that the SPD at these voltages is close to the clearest state corresponding with the suspended particle near to their maximum

orientation with the normal axis, leading to the saturated transparency state.

Figure 9 show the dd-2FM T_{tot} measurements and R_{tot} estimations (using eq. 1, as with R_{spec}) and the Matlab contour plots in the wavelength range where there is contrast between clear and dark states of the SPD, from 400 to 1400 nm. As with cc components, the voltage dependence of the chromatic appearance of the SPD is analyzed.

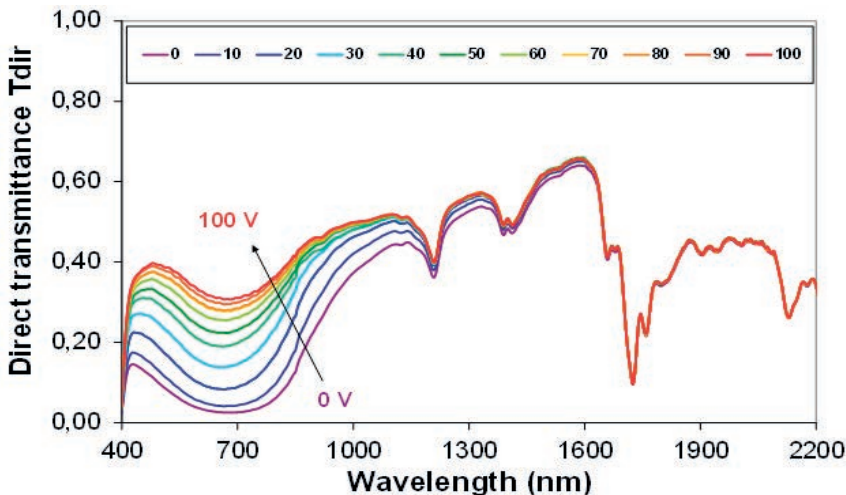
Results of Figures 8 and 9 seems to be more similar in T than in R, since diffuse components are relatively lower in comparison with collimated components. The noisy dots observed at R_{tot} plot of Figure 9 are due to estimations caused by eq. 1.

Equations 24 and 25 are used to fit the optical constants, i.e. the complex refractive index $\tilde{n}=n-ik$.

Figure 10 shows the voltage dependence of the real and imaginary part of the refractive index of the clear and dark and intermediate levels of the SPD. Fittings match perfectly with the T_{dir} and R_{spec} plots of Figure 8, although they are not represented in the plots. Fittings of T_{tot} and R_{tot} plots of Figure 9 also match perfectly, but in the visible wavelength range for higher voltages, as will be explained.

Figure 11 shows the extinction coefficient $ext=\lambda/(4 \cdot k)$ computed from imaginary part of the refractive index k , being λ the wavelength of incident radiation, as mention above in section 2.3. Differences between clear and dark states are more evident in the ext and k plots, as it can be observed in the contour plots, while in n plot the differences are related to interferences which appear as oscillations, topic to be studied in future works which should be included in the formulae [Swa].

Figure 8. Voltage dependence of direct transmittance and specular reflectance of the SPD



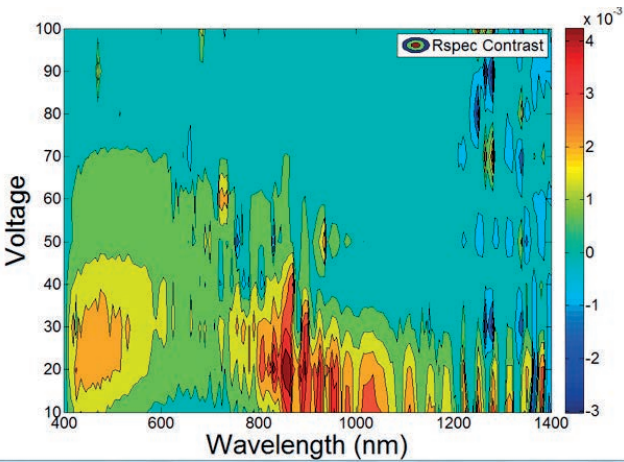
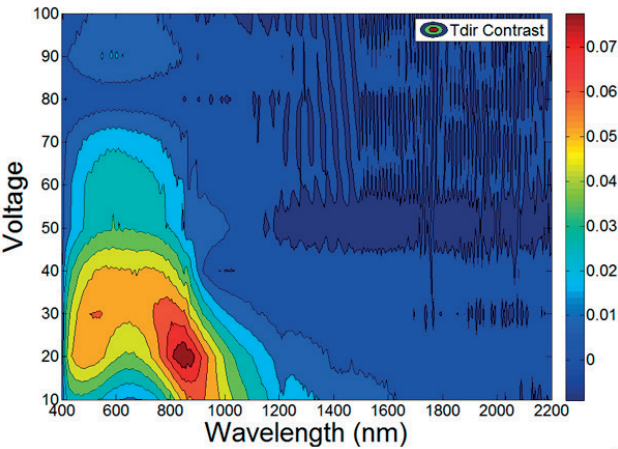
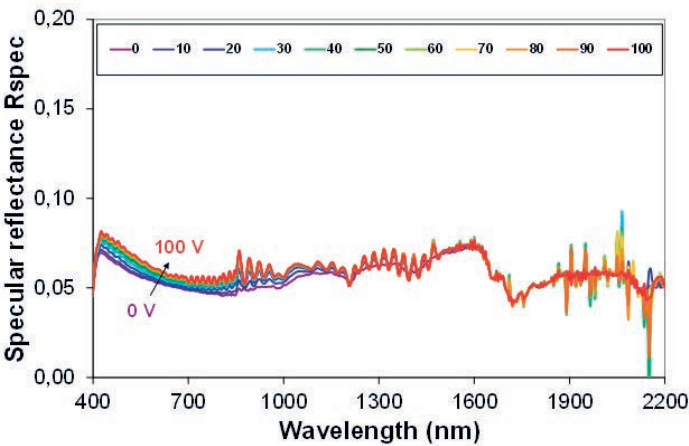
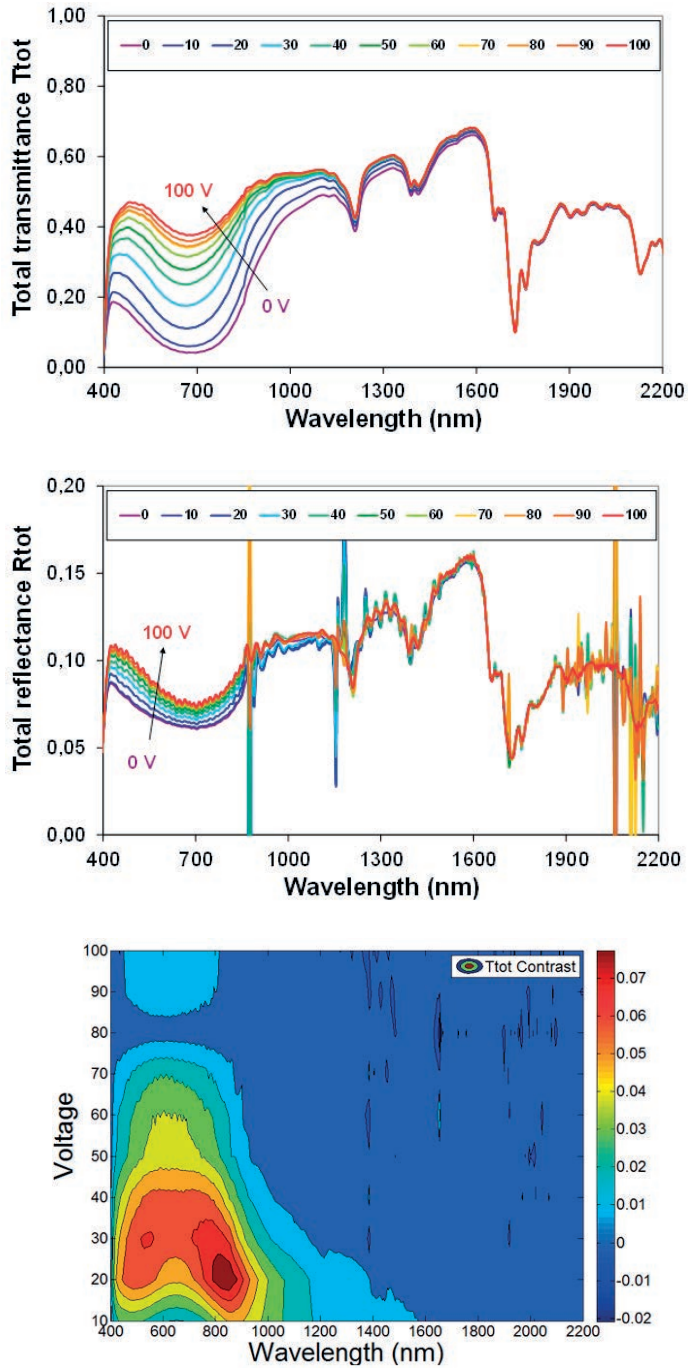


Figure 9. Voltage dependence of total transmittance and reflectance of the SPD



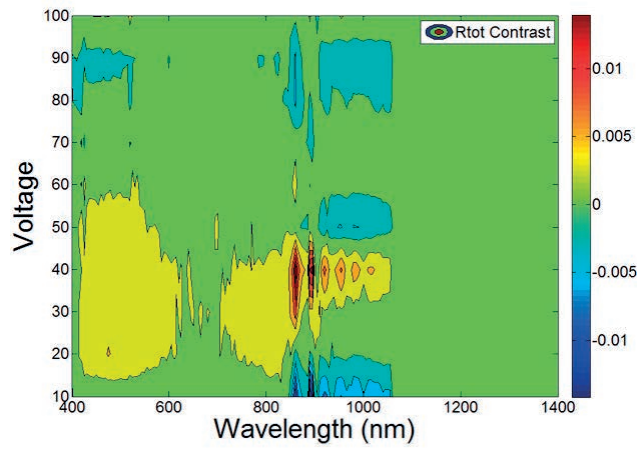
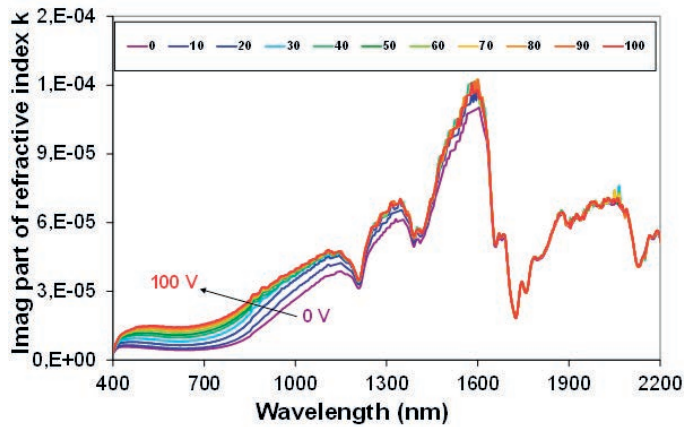
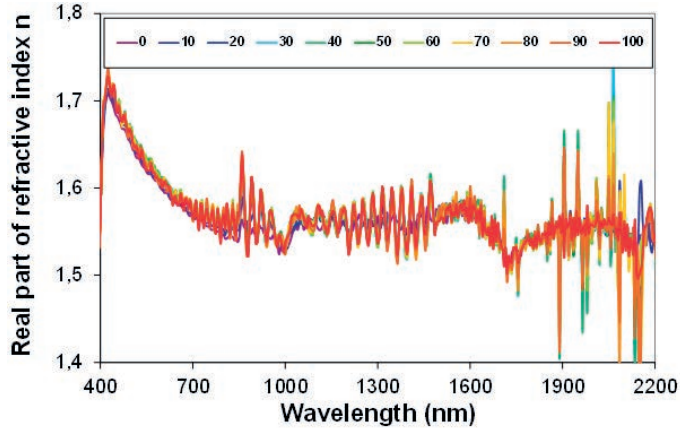


Figure 10. Voltage dependence of the optical constants of the SPD (n and k, real and imaginary parts of the refractive index)



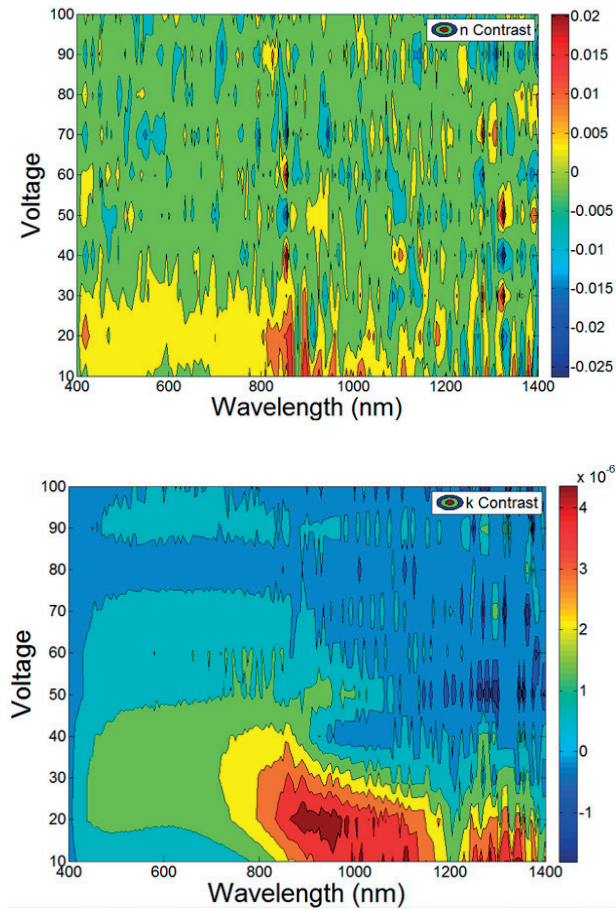
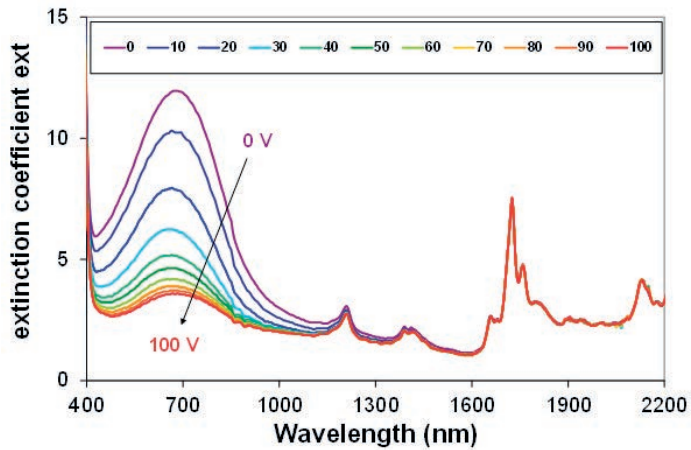


Figure 11. Voltage dependence of extinction coefficient of the SPD



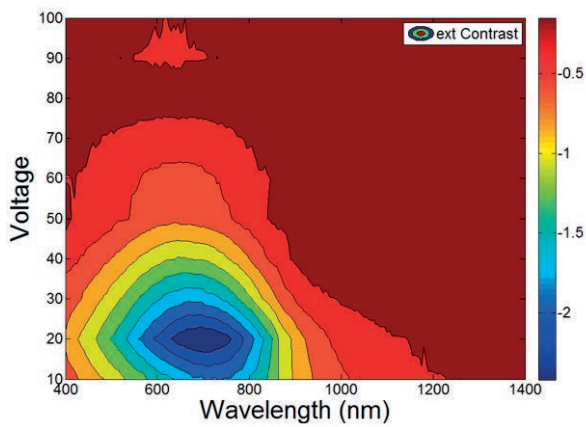


Figure 12. Voltage dependence of w^i , the total (collimated) interface reflectance of the SPD

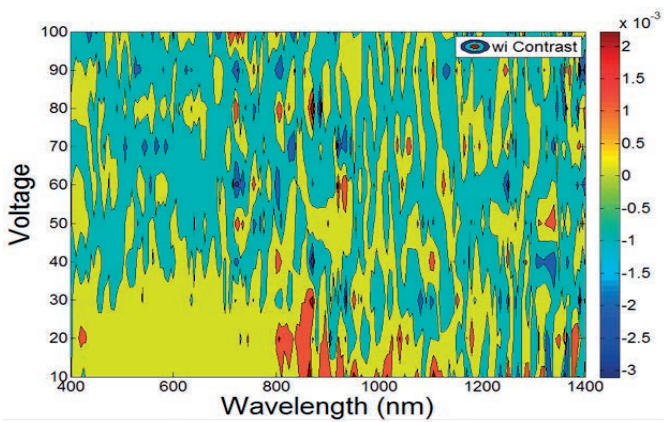
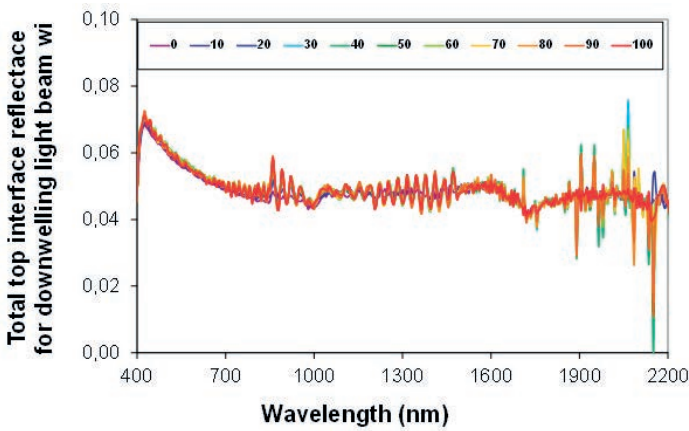


Figure 13. Voltage dependence of R_g , the total interface reflectance of the SPD for upwelling light beam “i” at the bottom interface “0”

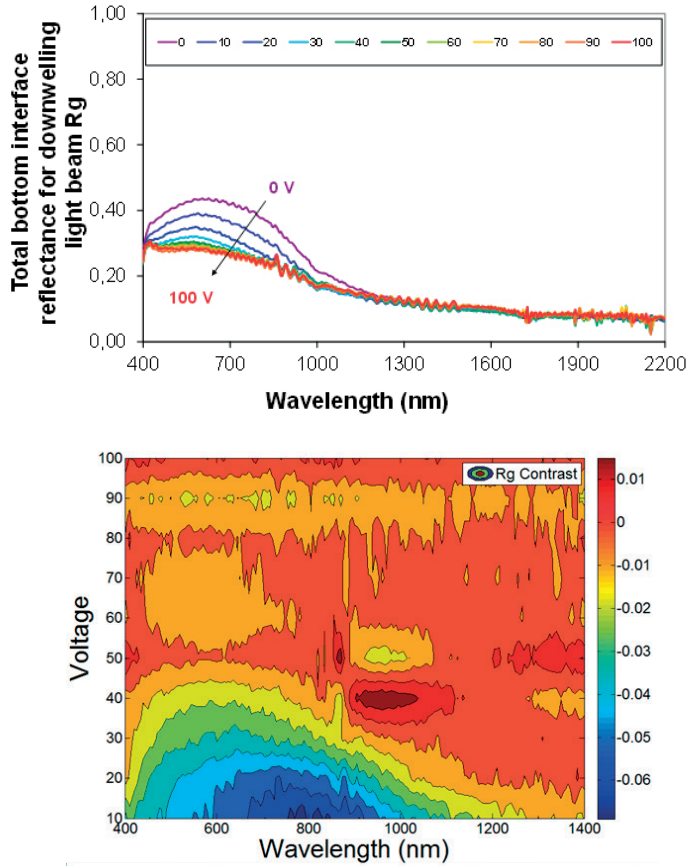
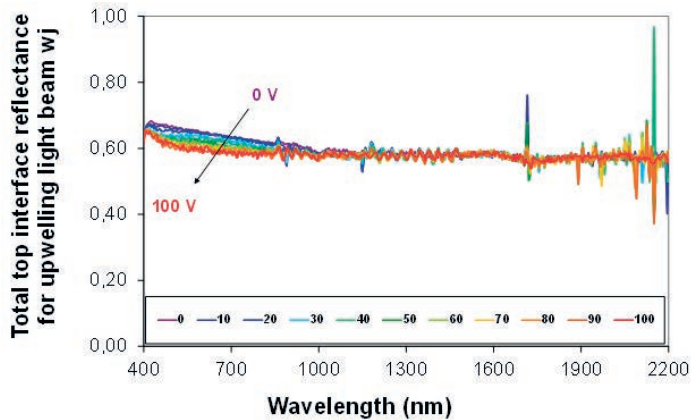


Figure 14. Voltage dependence of ω_j , the total interface reflectance of the SPD for upwelling light beam “j” at the top interface “D”



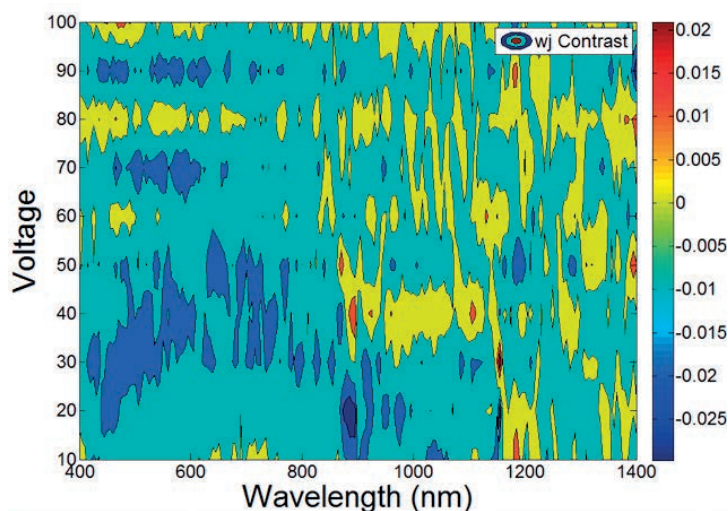


Figure 12 show the total interface reflectance ω^i at the top interface D for downwelling light beam “i”. Since $q_D^i=0$, i.e. light from the spectrometer is collimated, ω^i stands for collimated part of eq. 10. Figures 13 and 14 show the voltage dependence of the total interface reflectance R_g and ω^j at the bottom and top interfaces for downwelling and upwelling light beams respectively. Contrary to ω^i (which depends on n) there are contrast differences.

Figures 15 and 16 show the diffuse fractions of light at each interface for both senses of the light beam, which are used in eq. 10 for q_0^i and q_D^j . As expected, q_D^j is higher than q_0^i since light coming from the spectrometer cross twice through the scattering medium.

Figures 17 and 18 show the extensive 2FM scattering and absorption coefficients (S and K in equations 4 to 9).

As mention above and unlike fittings of n and k with T_{dir} and R_{spec} , fittings of S and K with T_{tot} measurements and R_{tot} estimations for the intermediate transparency levels of the SPD result into an error in the visible range for higher applied voltages, maybe due to the assumption of a single layer or due to angle resolved when computing diffuse interface reflectance in eq. 14. As it was observed in [3], when $S=0$ in the visible wavelength range for the clear state, there is a fitting error observed computed in R_{tot} . These errors for the voltage range have not been included in this work.

Figure 15. Voltage dependence of q_0^i , the diffuse fractions of light of the SPD for downwelling light beam “i” at the bottom interface “0”

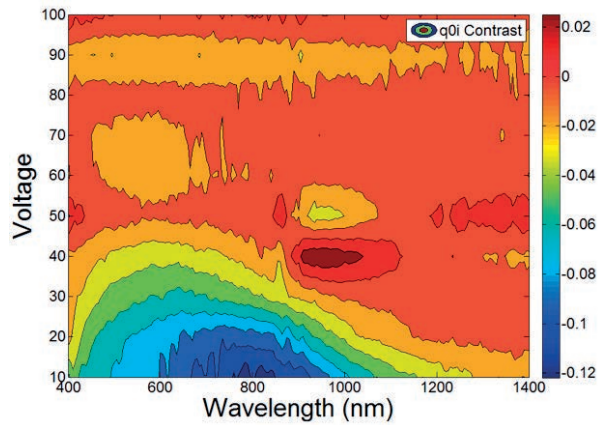
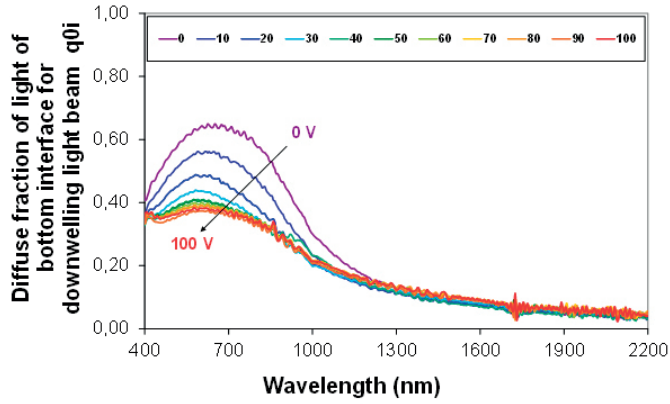
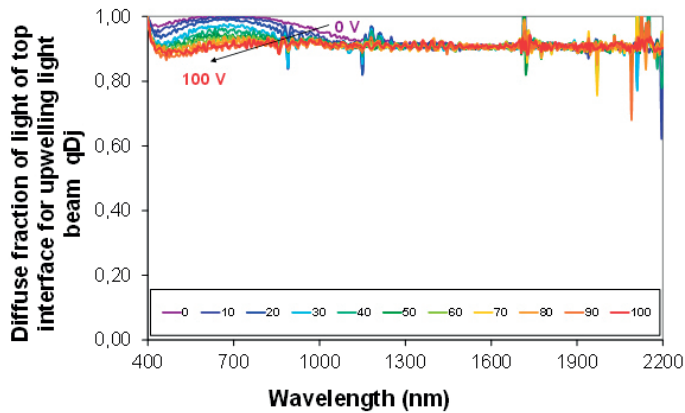


Figure 16. Voltage dependence of q_0^j , the diffuse fractions of light of the SPD for upwelling light beam “j” at the top interface “D”



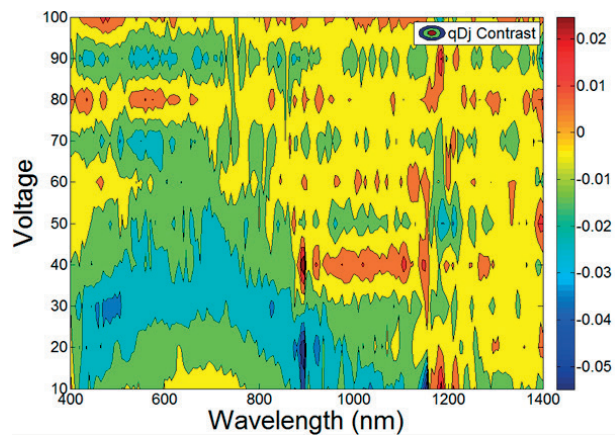


Figure 17. Voltage dependence of the extensive two flux model scattering coefficients of the SPD

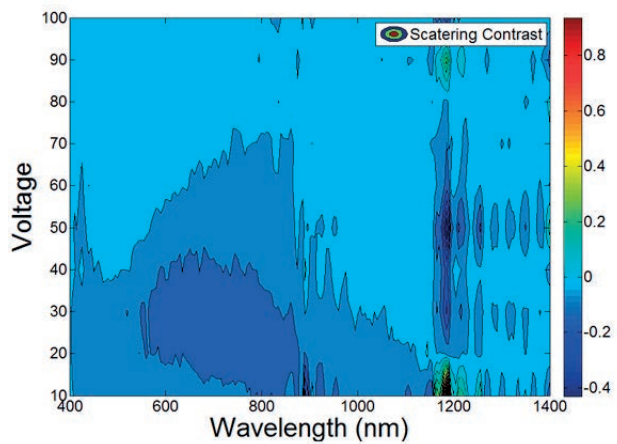
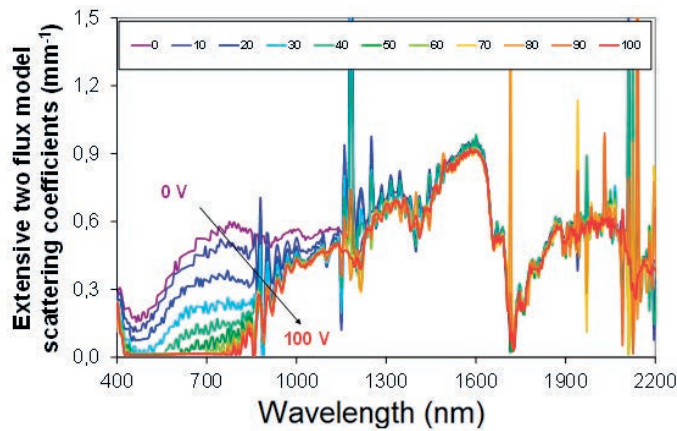
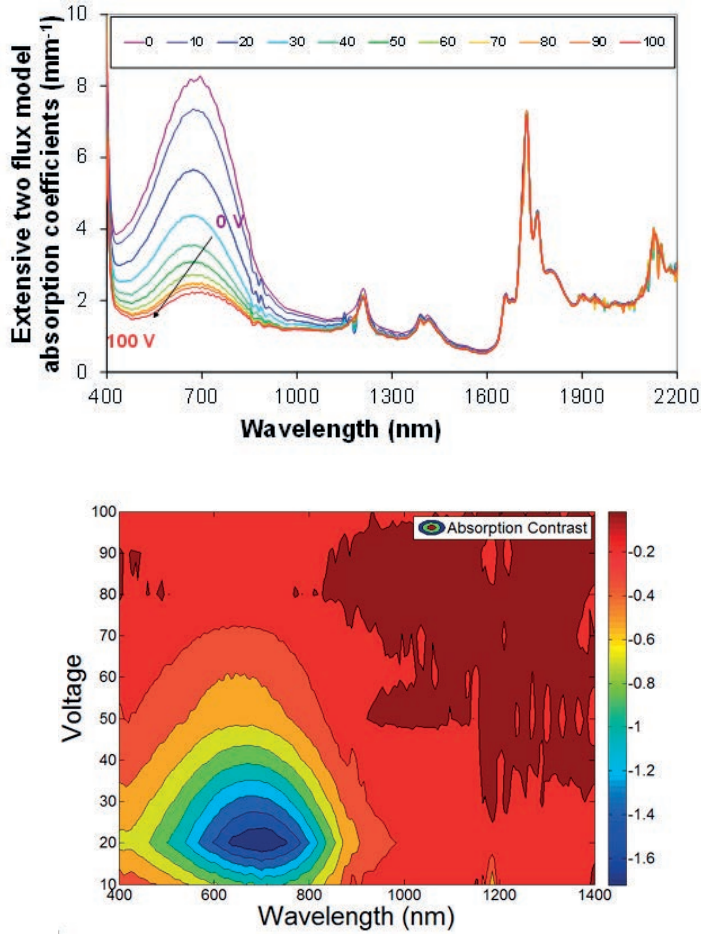


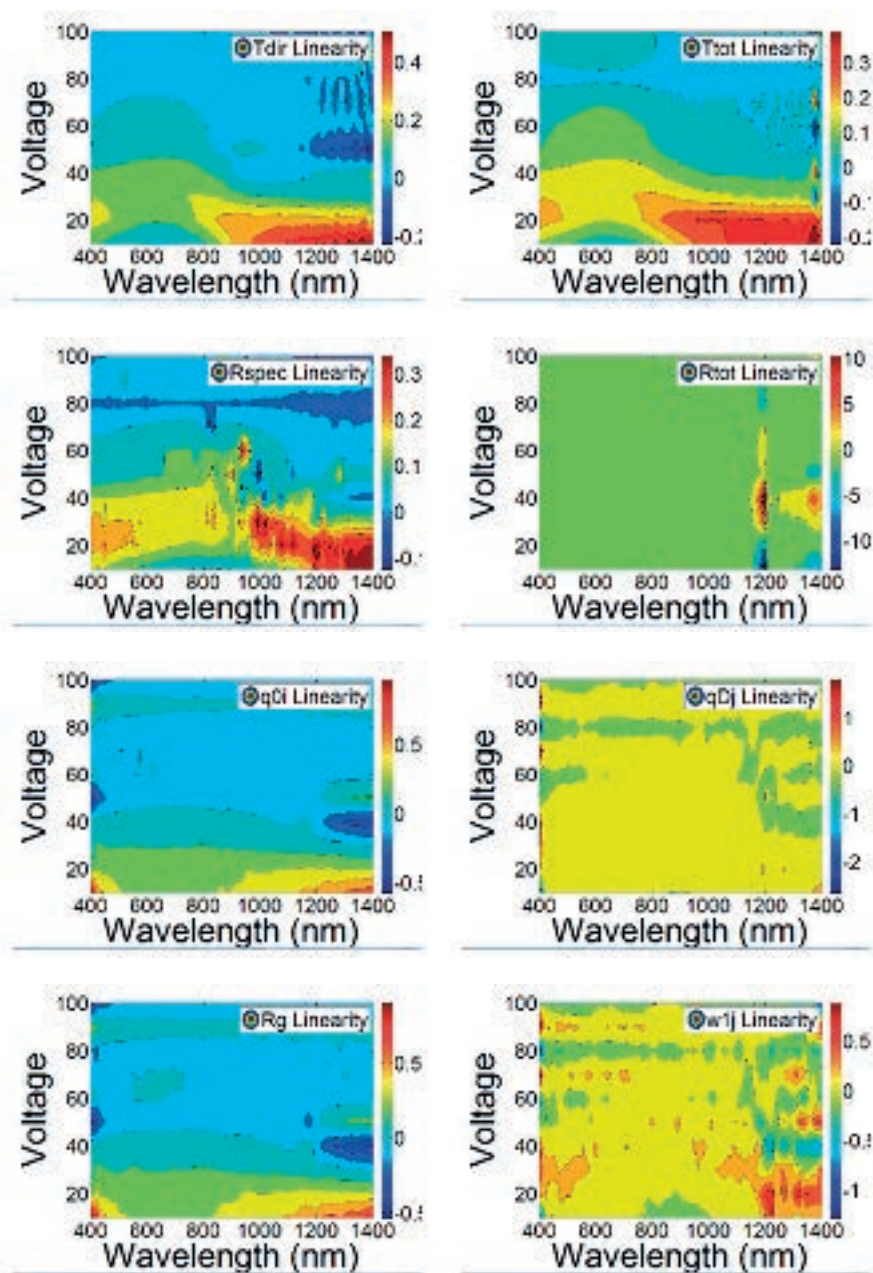
Figure 18. Voltage dependence of the extensive two flux model absorption coefficients of the SPD

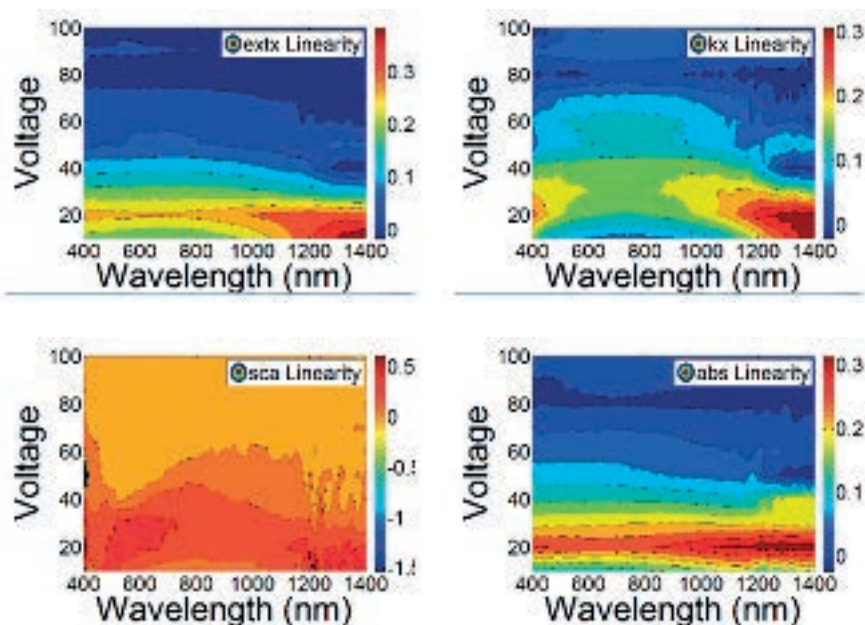


Linearity, i.e. the study of how much change is caused by each voltage step related to the total change, is studied in Figure 19 for all the previous param-

eters (including T measurements and R estimations), except for n and ω^i without contrast differences in the 400-1400 nm wavelength range.

Figure 19. Voltage dependence of the linearity of the parameters showing contrast differences in the SPD





5. CONCLUSIONS

Intermediate levels of transparency in a SPD smart window sample has been characterized from dark to clear states, from 0 to 100 V_{peak} applied, in 10 V_{peak} steps. Optical constants, together with extensive scattering and absorption coefficients and secondary parameters related with the collimated-collimated four-flux model and the diffuse-diffuse two flux model, have been analyzed for different orientation of the suspended particles of the active inner layer of the device by means of the direct and total transmittance measurements and the specular and total reflectance estimations spectrally for the solar wavelength range. A correction of the incident angle, of 10° with respect to the normal incidence, required for R measurements, and the use of the Snell-Descartes law

for complex refractive index for taking into account the extinction, i.e. the absorption and scattering of light, derived into the current results of the evolution of each parameter, such as the collimated and diffuse interface reflectances and the diffuse fractions of light at each top and bottom interface and for both downwelling and upwelling senses of light beams. Linearity of the extinction of light caused by absorption and scattering of the suspended particles, at the different orientations for the different levels of applied electrical voltage, is observed in the range from 400 to 1400 nm. Contour plots showed that, for the first four steps from 0 to 40 V_{peak} , more than 60% of the change of the whole range from 0 to 100 V_{peak} is obtained.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Angstrom Laboratory of Uppsala (Sweden), where measurements were carried out, to Universidad Carlos III de Madrid

for the mobility research grants and to Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil (Ecuador) for organizing this conference.

REFERENCES

- [1] C. G. Granqvist, I. Bayrak Pehlivan, S. V. Green, P. C. Lansaker and G. A. Niklasson, "Oxide-Based Electrochromics: Advances in Materials and Devices", Proceedings of Materials Research Society MRS Spring Meeting, Symposium H: Electrochromic Materials and Devices, San Francisco, USA, 2011.
- [2] Lampert C. M., Science S. "Smart switchable glazings for the new millennium", Proc. of Eurosun; Copenhagen, Denmark, 19-22 June, 2000.
- [3] D. Barrios, R. Vergaz, J.M. Sanchez-Pena, C.G. Granqvist, G.A. Niklasson, "Toward a quantitative model for suspended particle devices: optical scattering and absorption coefficients", Sol. Energy Mater. Sol. Cells 111, 115–122, 2013.

- [4] D. Barrios, R. Vergaz, J.M. Sanchez-Pena, C.G. Granqvist, G.A. Niklasson, "Simulation of the thickness dependence of the optical properties of suspended particle devices", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 143, 613–622, 2015.
- [5] Marta Klanjek Gunde, Zorica Crnjak Orel, Jasmina Kozar Logar, Boris Orel, "Flocculation gradient technique in terms of Kubelka-Munk coefficients: Quantifying black-pigmented dispersions", *Applied Spectroscopy* 49 (12), 1756-1761, 1995.
- [6] Guido Rothenberger, Pascal Comte, Michael GraKtzel, "A contribution to the optical design of dye-sensitized nanocrystalline solar cells", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 58, 321-336, 1999.
- [7] David Barrios, "Characterization and applications of new electrochromic devices. Comparison with other electrically controllable transmittance technologies", PhD Thesis, Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [8] A. Roos, "Use of an integrating sphere in solar energy research", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 30, 77–94, 1993.
- [9] B. Maheu, J.N. Letoulouzan, G. Gouesbet, "Four-flux models to solve the scattering transfer equation in terms of Lorenz–Mie parameters", *Appl. Opt.* 23 3353–3362, 1984.
- [10] B. Maheu, G. Gouesbet, "Four-flux models to solve the scattering transfer equation: special cases", *Appl. Opt.* 25, 1122–1128, 1986.
- [11] P. Kubelka, "New contributions to the optics of intensely light-scattering materials". Part I, *J. Opt. Soc. Am.* 38, 448–457, 1948.
- [12] J.L. Saunderson, Calculation of the color of pigmented plastics, *J. Opt. Soc. Am.* 32, 727–736, 1942.
- [13] R. Levinson, P. Berdahl, H. Akbari, "Solar spectral optical properties of pigments– Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 89, 319–349, 2005.
- [14] P. Pfrommer, K.J. Lomas, C. Seale, C. Kupke, The radiation transfer through coated and tinted glazing, *Sol. Energy* 54, 287–299, 1995.
- [15] S.A. Kovalenko, "Descartes-Snell law of refraction with absorption", *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*. V. 4, N 3. P. 214-218, 2001.
- [16] G. Kortüm, *Reflectance Spectroscopy: Principles, Methods, Applications*, Springer, New York, USA, 1969.
- [17] R Swanepoel, "Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon", *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 16 (12), 1983.

RESÚMENES DE POSTERS

Numerical study of change of phase inside a steam pipe

Estudio numérico del cambio de fase al interior de una tubería de vapor

L. Toapanta· C. Nieto-Londoño· W. Quitiaquez

Abstract: *This study presents a numerical investigation of the dynamic flow and phase change inside a steel pipe of 2 plg size 40, under different boundary conditions. Euler's approach to kinetic turbulence theory was used to perform all simulations using Computational Fluid Dynamics (CFD). The percentage of phase change was evaluated by varying the volumetric fraction of the secondary substance, as well as the main variables were the kinetic turbulence and the temperature of the fluid, the results that were obtained, were expected, due to the length of the tube and the roughness of the wall, there is a transfer of heat from the fluid to the outside of the wall which does not have an insulator, causing a decrease in temperature, generating the change of phase from water vapor to condensed liquid, in addition it was found that if the steam velocity is increased, the turbulence and the rate of phase change increase.*

Keywords: *CFD, heat transfer, kinetic turbulence, temperature, phase change.*

Resumen: Este estudio presenta una investigación numérica del flujo dinámico y el cambio de fase en el interior de una tubería de acero de 2 plg cédula 40, bajo diferentes condiciones de contorno. El enfoque de Euler con la teoría de turbulencia cinética se utilizó para realizar todas las simulaciones mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Se evaluó el porcentaje de cambio de fase al variar la fracción volumétrica de la sustancia secundaria, así como, se tomó como principales variables la turbulencia cinética y la temperatura del fluido, los resultados que se obtuvieron, llegaron a ser los esperados, debido a la longitud del tubo y a la rugosidad de la pared, se produce una transferencia de calor desde el fluido hacia el exterior de la pared la cual no posee un aislante, provocando una disminución de temperatura, generando el cambio de fase desde vapor de agua a líquido condensado, además se constató que si se aumenta la velocidad del vapor, aumenta la turbulencia y la velocidad de cambio de fase.

Palabras clave: CFD, transferencia de calor, turbulencia cinética, temperatura, cambio de fase.

Effects of the gasoline-ethanol mixture on an engine through analysis of vibration spectros and gases

Efectos de la mezcla gasolina-etanol en un motor mediante el análisis de gases y espectros de vibración

A. Bermeo· C. García· M. Carpio· F. Cedillo

Abstract: *In the automotive field the engines of internal combustion ignited by a spark, use gasoline as fuel, and after the combustion process the result is the emission of polluting gases. Among these gases are carbon monoxide and hydrocarbons that are highly polluting. In this context, this work aimed to perform an analysis of the power, torque and polluting gases emitted by the Armfield CM11 engine before gasoline mixtures of 82 octane with ethanol in different proportions. Data analysis was performed using a one-way ANOVA test. As a result, it was determined that the mixture with 10% ethanol is optimal for the operation of the Armfield CM11 engine without modification in its components, achieving a considerable reduction in polluting emissions without significantly altering the vibration spectrum.*

Keywords: *Anova, vibration analysis, analysis of polluting gases.*

Resumen: En el campo automotriz los motores de combustión interna de encendido provocado por una chispa, utilizan como combustible la gasolina, y luego del proceso de la combustión se tiene como resultado la emanación de gases contaminantes. Entre estos gases se encuentran el monóxido de carbono e hidrocarburos que son altamente contaminantes. En este contexto, este trabajo tuvo como finalidad realizar un análisis de la potencia, torque y los gases contaminantes emanados por el motor Armfield CM11 ante mezclas de gasolina de 82 octanos con etanol en diferentes proporciones. El análisis de datos se realizó mediante una prueba ANOVA de un factor. Como resultado, se determinó que la mezcla con 10% de etanol es óptima para el funcionamiento del motor Armfield CM11 sin modificación en sus componentes, logrando una considerable reducción de las emisiones contaminantes sin alterar significativamente el espectro de vibración.

Palabras clave: Anova, análisis de vibraciones, análisis de gases contaminantes.

Isolation and quantification of β -actin, RuANS and RuMY10 genes involved in the expression of anthocyanins in Mora de castilla by RT-qPCR

Aislamiento y cuantificación de los Genes β -actin, RuANS y RuMYB10, involucrados en la expresión de antocianinas en Mora de castilla mediante RT-qPCR

V. Chiluisa-Utreras J. Chicaiza S. Peñaherrera

Abstract: *The violet and purple colored fruits contain phenolic compounds specifically, anthocyanins. These have a high nutritional quality and anthocyanins are believed to have anti-aging, anti-carcinogenic and antioxidant properties in the fruit. Gene expression studies have demonstrated the importance of flavonoids and their biosynthetic pathways, further increasing the interests of research and sources. In the present study, for the isolation and quantification of the β -Actin, RuANS and RuMYB10 genes involved in the expression of anthocyanins in the cascade of Rubus glaucus Benth, the Real-Time Polymerase Chain Reaction Reverse transcription (RT-qPCR). According to the values obtained with the statistical analyzes DCA and the Tukey test at 95% confidence, observed a relationship between the genes as no significant differences existed in the expression of the three, generating the following results: Actin presented higher concentration (273.42 ng/mL), followed by the RuMYB10 gene (220.33 ng/mL) and finally the Ruans gene (212.75 ng/mL), concluding that the species studied had similar levels of expression Three genes analyzed.*

Keywords: β -Actin gen, RuANS gen, RuMYB10 gen, RT-qPCR, Rubus glaucus Benth.

Resumen: Los frutos de colores violetas y morados contienen en su interior compuestos fenólicos, específicamente, antocianinas. Estos poseen una alta calidad nutricional y se cree que las antocianinas presentan propiedades antienviejimiento, anti-carcinógenas y antioxidantes en la fruta. Estudios de expresión génica han demostrado la importancia de los flavonoides y sus rutas biosintéticas, aumentando aún más los intereses de investigación y las fuentes alternativas naturales para estos compuestos. En el presente estudio, para el aislamiento y la cuantificación de los genes β -Actin, RuANS y RuMYB10 involucrados en la expresión de antocianinas en mora de castilla *Rubus glaucus* Benth, se utilizó la técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa en Tiempo Real con transcripción inversa (RT-qPCR). De acuerdo a los valores obtenidos con los análisis estadísticos DCA y el test de Tukey al 95% de confianza, se observó una relación entre los genes ya que no existen diferencias significativas en la expresión de los tres, generando los siguientes resultados: gen β -Actin presenta mayor concentración (273,42 ng/mL), seguido por el gen RuMYB10 (220,33ng/mL) y finalmente el gen RuANS (212,75ng/mL), llegando a la conclusión que la especie estudiada presenta un nivel de expresión similar entre los tres genes analizados.

Palabras clave: Gen β -Actin, gen RuANS, gen RuMYB10, RT-qPCR, Rubus glaucus Benth.

Proposal of a methodology for measuring non-ionizing radiation emitted by wireless communications technologies embedded in mobile devices

Propuesta de una metodología de medición de radiaciones no ionizantes emitidas por tecnologías de comunicaciones inalámbricas de dispositivos portátiles

C. Reyes-López

Abstract: *The analysis of electromagnetic exposure due to wireless technologies began at the end of the twentieth century. It led to the publication of international standards setting reference levels that assure the absence of adverse health effects derived from the exposure to electromagnetic fields. However, crucial aspects, such as a methodology for the accurate measuring of electromagnetic exposure levels of the radioelectric sources, were not defined. The lack of this methodology conveys high-priced fallible measuring campaigns to update the exposure levels by cause of the continuously-increasing demand of radiocommunications. In this context, this project intends to find an advantageous methodology for measuring radioelectric exposure, to which the public is subjected, under various conditions. To achieve this goal, it is compulsory to set measuring procedures for current and under development technologies. Consequently, it expects to define the most precise methodology, via lab and field test, for assessing the levels of electromagnetic exposure efficiently. Such methodology could become useful for entities regulating telecommunication operators and manufacturers of wireless devices.*

Keywords: *electromagnetic fields, measuring instruments, radiation protection.*

Resumen: El análisis de exposición electromagnética debida a tecnologías inalámbricas comenzó a desarrollarse a finales del siglo XX. Llevando a la publicación de normativas internacionales que establecen niveles de referencia que aseguran la ausencia de efectos nocivos a la salud derivados de la exposición a campos electromagnéticos. Sin embargo, han quedado sin definir aspectos tan importantes como una metodología para la medición certera de los niveles de exposición electromagnética a partir de las fuentes de emisión radioeléctrica. En ausencia de esta metodología, el continuo incremento de la demanda de servicios basados en radiocomunicaciones implica la realización de costosas campañas de medición fallibles para actualizar los niveles de exposición. En este contexto, el presente proyecto propone encontrar una metodología de medición óptima de la exposición radioeléctrica a la que el público se encuentra sometido bajo diferentes condiciones. Para alcanzar este objetivo se plantea establecer procedimientos de medición para las tecnologías inalámbricas actuales y bajo desarrollo. Consecuentemente se proyecta definir la metodología más precisa, bajo pruebas de laboratorio y campo, que permita evaluar eficazmente los niveles de exposición electromagnética. Tal metodología podría llegar a ser de utilidad para las entidades reguladoras de operadoras de telecomunicaciones o de fabricantes de dispositivos inalámbricos.

Palabras clave: campo electromagnético, instrumento de medida, protección contra radiaciones.

Cryopreservation of *Elleanthus capitatus*, a native Ecuadorian orchid

Crioconservación de *Elleanthus capitatus*, una orquídea nativa del Ecuador

I. Vaca· E. Cueva· B. Moya

Abstract: Orchids are a very diverse group, with more than 35,000 species of which 25,000 are known worldwide and are distributed all over the world. Ecuador is a country with multiple microclimates, provides an environment conducive to the development of endemic orchids (40% of total species), therefore it is also a very valuable genomic source that needs to be conserved. The aim of this study was to develop a cryopreservation protocol for seeds of *Elleanthus capitatus*, the plant material comes from Orchid germplasm bank of the Ecuador (Cotacachi-Cayapas section). The interaction of the cryoprotectants (DMSO, Sucrose and Glycerol) and two freezing techniques (Fast-cooling: the seeds are directly submerged in liquid nitrogen, and Slow-cooling: the temperature is initially lowered to -80°C and then submerged in liquid nitrogen). The viability and *in vitro* turgidity were evaluated, being the treatment 1 (T1: DMSO in fast freezing) the one that presented better results, since it reached 64,77% of viability in TTC and 100% in the test of presence of embryo; and in addition the highest response in tissue culture was observed, with a 82,5% of seeds' turgidity.

Keywords: *Elleanthus capitatus*, cryoprotectant, vitrification, conservation.

Resumen: Las orquídeas constituyen un grupo muy diverso, con más de 35000 especies de las cuales 25000 son conocidas mundialmente, mismas que se encuentran distribuidas por el mundo entero. Ecuador al ser un país con múltiples microclimas, provee un ambiente propicio para el desarrollo de orquídeas endémicas (40% del total de especies), por tanto también es una fuente muy valiosa de material genómico que requiere ser conservado. El presente estudio se basó en el desarrollo de un protocolo de crioconservación de semillas la especie *Elleanthus capitatus*, el material vegetal proviene del Banco de germoplasma de Orquídeas del Ecuador Fase I (sección Cotacachi-Cayapas). Se realizó la evaluación de la interacción de los crioprotectores (DMSO, Sucrosa y Glicerol) y dos técnicas de congelamiento (Rápido: se sumergen las semillas directamente en nitrógeno líquido, y Escalonado: inicialmente se desciende la temperatura a -80°C y posteriormente se sumerge en nitrógeno líquido). La viabilidad y turgencia *in vitro*, fueron evaluadas, siendo el tratamiento 1 (T1: DMSO en congelamiento rápido) el que presentó mejores resultados, ya que alcanzó 64,77% de viabilidad en TTC y 100% en la prueba de presencia de embrión; y además se observó la mayor respuesta en cultivo *in vitro*, con un 82,5% de turgencia de la semilla.

Palabras clave: *Elleanthus capitatus*, crioprotector, vitrificación, conservación.

Greenhouse trials of strains of *Bacillus subtilis* as a biocontrol agent of *Alternaria* spp. in *Brassica oleracea* var *italica*

Pruebas bajo invernadero de cepas de *Bacillus subtilis* como agente de biocontrol de *Alternaria* spp. en *brassica oleracea* var *italica*

R. Acurio S. Caicedo J. Chacón

Abstract: Broccoli are one of the vegetables of major importance in Ecuador due to its consumption in the national market, inasmuch that 65% of it is production is exported to international markets. The main crop disease is caused by the *Alternaria* spp fungus. The investigation evaluated, under greenhouse testing, two strains of *Bacillus subtilis*, which were isolated from the producing localities that had demonstrated efficacy in the control of *Alternaria* spp in previous in vitro tests. The coded strains such as IB6 and AB4 were taken from the bank of strains from the 'Politécnica Salesiana University', and the pathogen was isolated from producing areas. The inoculation of the pathogen started from the fifth week after the transplant at a concentration of 1×10^4 , and twelve hours later, *B. subtilis* was applied at a concentration of 1.2×10^7 . The antagonistic capacity was assessed using a severity scale designed according to the quantity of lesions caused. An experimental design of a split plot with a chemical witness and an absolute was used quantifying the (ABCPE) until it's harvest, and the severity of the *Alternaria* spp in post-harvest of florets with no significant difference was found between the strain IB6 and the chemical witness.

Keywords: *Bacillus subtilis*, *Alternaria* spp, bio-control, broccoli.

Resumen: El brócoli es una de las hortalizas de mayor importancia en el Ecuador, por su consumo en el mercado nacional y considerando que el 65% de la producción se exporta a mercados internacionales. La principal enfermedad del cultivo es provocada por el hongo *Alternaria* spp. La investigación evaluó con pruebas bajo invernadero, dos cepas de *Bacillus subtilis* que fueron aisladas de localidades productoras y que demostraron eficiencia en el control de *Alternaria* spp. en pruebas in vitro anteriores. Las cepas codificadas como IB6 y AB4 fueron activadas del banco de cepas de la Universidad Politécnica Salesiana y el patógeno fue aislado de las zonas productoras. La inoculación del patógeno fue a partir de la quinta semana después del trasplante a una concentración de 1×10^4 y doce horas después se aplicó *B. subtilis* a una concentración de 1.2×10^7 . La capacidad antagónica se evaluó mediante una escala de severidad diseñada en función de la cantidad de lesiones causadas. Se utilizó un diseño experimental de parcela dividida con un testigo químico y un absoluto, cuantificando el (ABCPE) hasta la cosecha y la severidad de *Alternaria* spp en poscosecha de floretes, sin encontrar diferencia significativa entre la cepa IB6 y el testigo químico.

Palabras clave: *Bacillus subtilis*, *Alternaria* spp., biocontrol, brócoli.

Capacity of a society to provide healthy people: A case study

Capacidad de una sociedad para proporcionar personas sanas: caso de estudio

L. Caamaño

Abstract: *At present, cardiovascular diseases and diabetes are considered the leading causes of death in the world. Statistical methods have played an important role in the assessment of risks to human health, however, so far no model has been presented that objectively assesses a society's ability to provide healthy people. Faced with this problem, the present study proposes the use of Statistical Process Control (SPC) as an evaluation model. A case study was conducted in the city of Guayaquil, where 274 blood samples were taken to analyze variables such as cholesterol, triglycerides and glucose, which were treated statistically. The results obtained demonstrated that through this methodology, a society can be objectively evaluated to provide healthy human beings.*

Keywords: *statistical method, society, health, prevention.*

Resumen: En la actualidad las enfermedades cardiovasculares y la diabetes, están consideradas como las principales causas de muerte en el mundo. Los métodos estadísticos han desempeñado un rol importante en la evaluación de riesgos para la salud del ser humano, sin embargo, hasta el momento no se ha presentado un modelo que evalúe de manera objetiva la capacidad de una sociedad para proporcionar personas sanas. Frente a esta problemática, en el presente estudio se propone el uso del Control Estadístico de Procesos (SPC) como modelo de evaluación. Se realizó un estudio de caso en la ciudad de Guayaquil, en donde se tomaron 274 muestras de sangre, para analizar variables como: colesterol, triglicéridos y glucosa, las cuales fueron tratadas estadísticamente. Los resultados obtenidos demostraron que por medio de esta metodología se puede evaluar objetivamente a una sociedad para proporcionar seres humanos saludables.

Palabras clave: método estadístico, sociedad, salud, prevención.

Emulation of a PID controller in Raspberry Pi for a WNCS

Emulación de un controlador PID en Raspberry Pi para una WNCS

D. Soberon A. Bonilla C. Pillajo

Abstract: *This paper aims to explain the implementation of a PID controller through a Raspberry Pi 3 compact server and an Arduino Yun actuator. To develop this project, the authors followed the trial and error method using the JSON communication protocol, which consists in sending a data with the sensor distance information and receiving the response calculated by the server's PID algorithm. Inside the Raspberry Pi 3 there is a LAMP server (Linux, Apache, MYSQL, PHP), where the acquisition of data is programmed, the calculation of the controller with the equation of the plant and the sending of the calculated data to a database in a PHP file, the encapsulation of data through the JSON communication protocol, and finally a way of visualizing the behavior through HTML and JavaScript that is obtained from a MYSQL database. In the Arduino Yun it is obtained the data physically. These are treated and scaled to send only the required information, which in this case is the distance in centimeters. Then the process of interpreting the data received from the server is performed to give a firing angle to the actuator, which is a servomotor.*

Keywords: *Raspberry Pi, JSON, WNCS, Arduino Yun, LAMP.*

Resumen: En el presente trabajo se busca explicar la implementación de un controlador PID a través de un servidor compacto Raspberry Pi 3 y un actuador Arduino Yun. Para desarrollar este proyecto los autores se rigieron al ensayo y error usando el protocolo de comunicación JSON, el cual consiste en enviar un dato con la información de distancia del sensor y recibir la respuesta calculada por el algoritmo PID del servidor. Dentro del Raspberry Pi 3 se tiene un servidor LAMP (Linux, Apache, MYSQL, PHP), donde se programa la adquisición de datos, el cálculo del controlador con la ecuación de la planta y el envío de los datos calculados a una base de datos en un archivo PHP, la encapsulación de datos a través del protocolo de comunicación JSON, y finalmente una forma de visualización del comportamiento a través de HTML y JavaScript que se obtiene desde una base de datos MYSQL. En el Arduino Yun se obtiene los datos de forma física. Estos son tratados y escalados para enviar únicamente la información requerida, que en este caso es la distancia en centímetros. Después se realiza el proceso de interpretación de los datos que recibe del servidor para dar un ángulo de disparo al actuador que es un servomotor.

Palabras clave: Raspberry Pi, JSON, WNCS, Arduino Yun, LAMP.

Relevant activities in software process improvement

Actividades relevantes en la mejora de procesos software

V. Jurado S. Coque G. Pizarro

Abstract: *Due to the lack of information about the activities necessary for software development SMEs to have a certain degree of maturity in their processes, the present poster presents a review of the areas of processes and activities in common of models of improvement of software processes for SMEs. As a result, a list of activities essential for the maturity of processes within SMEs is presented.*

Keywords: *software processes improvement, VSE, software development.*

Resumen: Debido a la poca información existente acerca de las actividades necesarias para que las Pymes desarrolladoras de software puedan contar con un cierto grado de madurez en sus procesos, el presente poster presenta una revisión de las áreas de procesos y actividades en común de modelos de mejora de procesos software para pymes. Como resultado se presenta un listado de las actividades esenciales para la madurez de procesos dentro de las pymes desarrolladoras de software.

Palabras clave: mejora de procesos software, pymes, desarrollo de software.

QR codes as a learning tool for quick and direct access to academic information of interest

Códigos QR como herramienta de aprendizaje de acceso rápido y directo a la información académica de interés

J. Cueva· R. López· N. Sumba

Abstract: *The use of QR codes as a marketing tool, thanks to the appearance of decoder programs on mobile devices, allowed to apply different concepts such as digital marketing, ecological marketing and guerrilla marketing. These benefits motivated the authors to apply the tool as a complement to the teaching-learning processes that are generated at universidad Politécnica Salesiana. A manual containing the lectures corresponding to the subject Applied Computing I was developed to which QR codes were incorporated. The intention was to allow the students to scan the codes with their cell phone or electronic tablet and they could access from these devices to the text of the manual and to images and associated videos for the complement of their autonomous study. As a result, it was obtained that the group of students that had access to the material with QR codes had a better performance in the academic period considered than the other two groups that received the manual without the codes. The students of the first group, also expressed their satisfaction for having accessed information of interest about the academic subject through a new tool for them. These results show that mobile technology is not necessarily a distraction in the teaching-learning process, but when used appropriately, it can contribute to its improvement and innovation.*

Keywords: *QR codes, teaching method, multimedia teaching, mobile learning, virtual learning.*

Resumen: El uso del código QR como herramienta de marketing, gracias a la aparición de programas decodificadores en dispositivos móviles, permitió aplicar diferentes conceptos tales como el marketing digital, el marketing ecológico y el marketing de guerrilla. Tales beneficios motivaron a los autores a aplicar la herramienta como complemento a los procesos de enseñanza aprendizaje que se generan en la Universidad Politécnica Salesiana. Se desarrolló un manual contentivo de las conferencias correspondientes a la asignatura Informática Aplicada I al que se le incorporaron códigos QR. La intención fue permitir que los estudiantes escanearan los códigos con su celular o tableta electrónica y pudieran acceder desde estos dispositivos al texto del manual y a imágenes y videos asociados para el complemento de su estudio autónomo y extraclase. Como resultado se obtuvo que el grupo de estudiantes que tuvo acceso al material con códigos QR, tuvo un mejor rendimiento en el período académico considerado que los otros dos grupos que recibieron el manual sin los códigos. Los estudiantes del primer grupo, además, manifestaron la satisfacción de haber accedido a información de interés de la asignatura mediante una herramienta nueva para ellos. Estos resultados demuestran que la tecnología móvil no necesariamente es un distractor en el proceso de enseñanza aprendizaje, sino que usada apropiadamente, puede contribuir a su mejora e innovación.

Palabras clave: códigos QR, método de enseñanza, enseñanza multimedia, aprendizaje móvil, aprendizaje virtual.

Innovation in stainless steel iron cut processes in metalmechanic companies of Ecuador

Innovación en procesos de corte de plancha de acero inoxidable en las empresas metalmecánica del Ecuador

M. Morales

Abstract: *When visiting the company DIMETAL S.A., which is dedicated to the development and maintenance of all types of metalworking objects, it was found excessive raw material waste in the steel cutting operation, as well as low labor productivity. The cutting operation is key in the production processes of metalworking companies. In the company Dimetal S.A the cut of plates is made to the measure requested by the client and as part of this process material is wasted and the cutting times are excessively high, which represents a significant economic loss for the company. In this context, this research proposed an algorithm that optimizes the cutting area, minimizing the waste of material, which represents a satisfactory solution to be implemented by DIMETAL S.A. and easy to adopt by other metalworking companies nationwide.*

Keywords: *Heuristic algorithms, metalworking company, steel plate cutting.*

Resumen: Al visitar la empresa DIMETAL S.A. dedicada a la elaboración y mantenimiento de todo tipo de objetos metalmecánicos, se evidenció en sus procesos despilfarros de materia prima en la operación de cortes de las planchas de acero, así como baja productividad del trabajo. La operación de corte es clave en los procesos de producción de las empresas metalmecánicas. En la empresa Dimetal S.A se realiza el corte de planchas a la medida que solicita el cliente y como parte de este proceso se desperdicia material y los tiempos de corte resultan excesivamente altos, lo que representa una pérdida económica importante para la empresa. En este contexto, esta investigación propuso un algoritmo que optimiza el área de corte, minimizando los desperdicios de material, lo cual representa una solución satisfactoria de implementar por DIMETAL S.A. y fácil de adoptar por otras empresas metalmecánicas a nivel nacional.

Palabras clave: Algoritmos heurísticos, empresa metalmecánica, procesos de corte de plancha.

Some configurations of isolated systems of renewable energy, applied in rural Andean zones

Diferentes configuraciones de sistemas aislados de energía renovable, aplicado en zonas andinas rurales

J. Macancela· J. Lata

Abstract: *The development of a community is connected to the access to a continuous supply of electricity therefore it takes the commitment of all the actors to achieve this end. This poster presents the wind and solar energy resources for the design of different configurations of renewable generators, which are technically and economically feasible. Cost and technical analysis are performed with the software HOMER, based on the local weather data stories such as solar radiation and wind speed along with the profile of the charge obtained for users of the Dignity Rate Plan in Ecuador. The results of the different combinations and simulation, has given the photovoltaic configuration with the lowest cost, for this reason, a reasonable solution for the generation of electricity in the studied areas.*

Keywords: *Homer, renewable energy, electrification.*

Resumen: El desarrollo de una comunidad va ligado al acceso a un suministro continuo de electricidad, por lo tanto, lleva al compromiso de todos los actores a lograr este fin. Este poster presenta los recursos energéticos eólicos y solares para el diseño de diferentes configuraciones de generadores renovables que son técnicamente factibles y económicamente viables para algunas zonas rurales andinas. El análisis técnico y de costos se realiza mediante el software HOMER basado en los datos meteorológicos del lugar, tales como radiación solar y velocidad del viento junto con el perfil de la carga obtenido para usuarios del plan “Tarifa de la Dignidad” implementado por el gobierno ecuatoriano. Los resultados de las diferentes combinaciones y su simulación, demuestran que la configuración fotovoltaica es la del menor costo, por esta razón sería una solución razonable para la generación de electricidad en las zonas rurales estudiadas.

Palabras clave: Homero, energía renovable, electrificación.

Recognition of characters and handwritten strokes for initial education students

Reconocimiento de caracteres y trazos manuscritos para estudiantes de educación inicial

M. Gómez, M. Quiroz

Abstract: *The changes that arise in the current learning methodology, require to strengthen and flexibilize the study areas in a virtual way, where the student acquires knowledge and the teacher measures the effectiveness of the process through the use of technological tools. Writing is one of the basic skills applied in early childhood education, and conducting tests in the learning process takes time and dedication. The proposal of the present work is to implement a system capable of evaluating nursery activities, through the use of a tactile touch-screen, which recognizes the characters written by the student. The study was based on children from the second year of basic education onward, through the application of robust algorithms that perform a previous segmentation and obtain the automatic decoding of geometric variations in terms of position, size, orientation and inclination changes that the writer makes. As a result it was demonstrated that students of initial education achieves better cognitive results by means of the method that uses TICs, taking into account the behavior of the parameters: time and accuracy in the execution of the activities. By using sounds and animations through the touch screen students were motivated and paid more attention to the activity. It can be deduced from this study that by integrating ICTs as learning resources in initial education, children's apprehension of content is facilitated, since learning objectives are achieved more quickly than with the traditional method. This implies the need to generate, in the near future, learning methodologies that progressively involve ICTs from early childhood education.*

Keywords: Basic Education, convolution, handwritten strokes, patterns.

Resumen: Los cambios que se suscitan en la metodología de aprendizaje actual, exigen robustecer y flexibilizar los ámbitos de estudio de forma virtual, donde el estudiante adquiera conocimiento y el docente mida la eficacia del proceso mediante el uso de herramientas tecnológicas. La escritura es una de las habilidades básicas aplicadas en la educación inicial, y realizar ensayos en el proceso de aprendizaje requiere tiempo y dedicación. La propuesta del presente trabajo es implementar un sistema capaz de evaluar las actividades parvularias, mediante el uso de una pantalla táctil, que reconoce los caracteres escritos por el estudiante. El estudio se basó en niños de segundo año de educación básica en adelante, mediante la aplicación de algoritmos robustos que realizan una segmentación previa y obtienen la decodificación automática de variaciones geométricas en cuanto a cambios de posición, tamaño, orientación e inclinación que realiza el escritor. Como resultado del estudio se demostró que el estudiante de enseñanza inicial logra un mejor resultado cognoscitivo mediante el método que emplea TICs teniendo en cuenta el comportamiento de los parámetros: tiempo y asertividad en la ejecución de las actividades. Al utilizar sonidos y animaciones a través de la pantalla táctil los alumnos se motivaron y prestaron mayor atención a la actividad. Se deduce de este estudio que al integrar las TICs como recursos de aprendizaje en la enseñanza inicial, se facilita la aprehensión de los contenidos por parte de los niños y niñas, pues se logran los objetivos de aprendizaje de forma más rápida que con el método tradicional. Esto implica la necesidad de generar en el futuro cercano, metodologías de aprendizaje que involucren progresivamente las TICs desde la enseñanza parvularia.

Palabras clave: Convolución, Educación Básica, patrones, trazos manuscritos.

The carbon footprint in the community crops of Quínoa (*Chenopodium quinoa* wild) from the central zone of the Ecuadorian Andes

Estimación de la huella de carbono en los cultivos comunitarios de Quínoa (*Chenopodium quinoa* wild) correspondientes a la zona central de los Andes ecuatorianos

L. Ramírez-Cando R. Vilches C. Álvarez I. Pinzón

Abstract: *Quinoa is a pseudo-cereal considered strategic for food sovereignty, because of its high nutritional value, containing all essential amino acids and low gluten content. Likewise, in Ecuador, Andean agricultural products are to be revalued and ecologically sustainable. The aim of the study was to assess two indicators of Environmental Impact, Water Footprint and Carbon Footprint, generated by the cultivation of Quinoa in Cayambe-Pichincha-Ecuador community Pucará and Colta-Chimborazo-Ecuador community Majipamba. Inventory information was collected from soil preparation to management of agricultural residues. Interviews, physical-chemical analyzes of soil-fertilizer samples and collection of meteorological data were performed. For carbon footprint estimation, the IPCC guidelines were followed. The importance of this type of estimation lies in contributing to sustainable development and promoting eco-labeling of Andean products linked to organic certification.*

Keywords: *Quinoa, LCA, carbon footprint, water footprint.*

Resumen: La Quinoa es un pseudo-cereal considerado estratégico para la soberanía alimentaria, por su alto valor nutritivo, por contener todos los aminoácidos esenciales y bajo contenido de gluten. Asimismo, en Ecuador se busca que los productos agrícolas andinos sean revalorizados y ecológicamente sostenibles. El objetivo principal que se planteó en el estudio fue la estimación de dos indicadores de Impacto Ambiental, Huella Hídrica y Huella de Carbono, generados por el cultivo de Quinoa en los cantones de Cayambe-Pichincha-Ecuador comunidad Pucará y Colta-Chimborazo-Ecuador comunidad Majipamba. Se recopiló información de inventario desde la preparación del suelo hasta la gestión de residuos agrícolas. Se emplearon entrevistas, análisis físico-químicos de muestras de suelo-fertilizantes y recolección de datos meteorológicos. Para la estimación de la huella de carbono se siguió las directrices del IPCC. La importancia de este tipo de estimación radica en contribuir con el desarrollo sostenible e impulsar al eco-etiquetado de productos andinos ligados a la certificación orgánica.

Palabras clave: Quinoa, huella de carbono, huella hídrica, cambio climático.

Educational inclusion of students with disabilities at UPS Guayaquil

Inclusión educativa de estudiantes con discapacidad en la UPS sede Guayaquil

B. Naranjo

Abstract: *In Ecuador the number of people with disabilities is increasing. The most recent data is published by CONADIS (National Council for Equality of Disability), whose official website registers 427,826 people with this condition to September 2017. These data reflect a worrying situation not only in our country but throughout the world because these statistics increase each year. Far from the numbers and closer to people we can notice that the subject of disability remains a matter of discrimination. One of the fields in which this segregation was very noticeable was education, due to the use of “labels” that are still used to refer to people with disabilities, such as “people with special abilities”, “problem people”, among other terms that generate barriers that people with disabilities must face. With the purpose of developing a research work addressed to favor the educational inclusion of students with disabilities, the TICAD research group (Information and communication technologies associated with disability) emerged at the Salesiana Polytechnic University in Guayaquil. This group presented the INCLED research project (Educational Inclusion of Students with Disabilities). Within it there are some components that seek to favor the processes of educational inclusion. This article aims to publicize the work done in this project, based on research to promote the educational inclusion of students with disabilities.*

Keywords: Educational inclusion, disability, tics, support center, CAI.

Resumen: En el Ecuador el número de personas con discapacidad está en aumento, el dato más reciente lo publica el CONADIS (Consejo Nacional de Igualdad de discapacidad), cuyo registro oficial en su sitio web registra a 427.826 personas con esta condición a septiembre de 2017. Estos datos reflejan una situación preocupante no solo en nuestro país sino en todo el mundo pues cada año se ven incrementadas estas estadísticas. Lejos de los números y más cerca de las personas podemos notar que sigue siendo materia de discriminación el tema de la discapacidad. Uno de los campos en el que se hacía muy notoria esa segregación era el educativo, debido al uso de “etiquetas” que aún son usadas para denominar a las personas con discapacidad como “personas con capacidades especiales”, “personas problema”, entre otros términos que generan que existan barreras que las personas con discapacidad deben enfrentar. Con la finalidad de desarrollar un trabajo investigativo que tenga como eje favorecer la inclusión educativa de estudiantes con discapacidad surgió en la Universidad Politécnica Salesiana de la sede Guayaquil el grupo de investigación TICAD (Tecnologías de información y comunicación asociadas a discapacidad). Este grupo desarrolló el proyecto de investigación INCLED (Inclusión Educativa de Estudiantes con discapacidad). Dentro del mismo existen algunos componentes que pretenden favorecer los procesos de inclusión educativa. El presente trabajo pretende dar a conocer los resultados de este proyecto basado en la investigación científica para favorecer la inclusión educativa de estudiantes con discapacidad.

Palabras clave: Inclusión educativa, discapacidad, tics, centro de apoyo, CAI.

PREMIOS

Premios	Ponente(s)	Título de la contribución
Mejor Poster Científico	Ivonne Vaca Suquillo	Crioconservación de <i>Elleanthus Capitatus</i> , una orquídea nativa del Ecuador.
Mejor ponencia de la Sesión Técnica: Industria	Luis Toapanta Ramos	Comparación numérica de los modelos de turbulencia $k-\epsilon$ estándar y $k-\epsilon$ realizable en fluidos multifásicos.
Mejor ponencia de la Sesión Técnica: Educación	Adriana Toral Sarmiento	Lecto-escritura en entornos virtuales para estudiantes con discapacidad auditiva.
Mejor ponencia de la Sesión Técnica: Ambiente	Jorge Silva Yumi	Absorción de Cadmio sobre un andosol ecuatoriano, efecto del pH, fuerza iónica, dosis, y tiempo de contacto.
Mejor ponencia de la Sesión Técnica: Salud	Jhon Castillo Guerrero Adrián Aguilar Ramón	Sistema electrónico para el control y monitoreo del levantamiento de peso.
Mejor ponencia de la Sesión Técnica: Información y Telecomunicaciones	Raúl Samaniego Tello	Sistema autónomo de vigilancia aérea.

Este volumen acoge la memoria académica de la Cuarta edición del Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad, CITIS 2017, desarrollado entre el 29 de noviembre y el 1 de diciembre de 2017 y organizado por la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) en su sede de Guayaquil.

El Congreso ofreció un espacio para la presentación, difusión e intercambio de importantes investigaciones nacionales e internacionales ante la comunidad universitaria que se dio cita en el encuentro. El uso de herramientas tecnológicas para la gestión de los trabajos de investigación como la plataforma *Open Conference Systems* y la web de presentación del Congreso <http://citis.blog.ups.edu.ec/>, hicieron de CITIS 2017 un verdadero referente entre los congresos que se desarrollaron en el país.

La preocupación de nuestra Universidad, de presentar espacios que ayuden a generar nuevos y mejores cambios en la dimensión humana y social de nuestro entorno, hace que se persiga en cada edición del evento la presentación de trabajos con calidad creciente en cuanto a su producción científica.

Quienes estuvimos al frente de la organización, dejamos plasmado en estas memorias académicas el intenso y prolífico trabajo de los días de realización del Congreso Internacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Sociedad al alcance de todos y todas.

